

**FACULDADE DE ENGENHARIA DA UNIVERSIDADE DO PORTO**



# **Sistema de Monitorização em Tempo Real para Máquinas de Extracção de Bebidas**

**Ricardo Joel Moreira Carvalho**

Mestrado Integrado em Engenharia Eletrotécnica e de Computadores

Orientador: Prof. Doutor Armando Luís Sousa Araújo

30 de Julho de 2015





A Dissertação intitulada

“Sistema de Monitorização em Tempo Real para Máquinas de Extracção de  
Bebidas”

foi aprovada em provas realizadas em 24-07-2015

o júri

*Paulo José Cerqueira Gomes da Costa*

Presidente Professor Doutor Paulo José Cerqueira Gomes da Costa  
Professor Auxiliar do Departamento de Engenharia Eletrotécnica e de Computadores  
da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto

*Paulo Jorge Campos Costa*

Professor Doutor Paulo Jorge Campos Costa  
Professor Adjunto do Departamento de Ciências Básicas e da Computação da Escola  
Superior de Tecnologia e Gestão do Instituto Politécnico de Viana do Castelo

*Armando Luís Sousa Araújo*

Professor Doutor Armando Luís Sousa Araújo  
Professor Auxiliar do Departamento de Engenharia Eletrotécnica e de Computadores  
da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto

O autor declara que a presente dissertação (ou relatório de projeto) é da sua  
exclusiva autoria e foi escrita sem qualquer apoio externo não explicitamente  
autorizado. Os resultados, ideias, parágrafos, ou outros extratos tomados de ou  
inspirados em trabalhos de outros autores, e demais referências bibliográficas  
usadas, são corretamente citados.

*Ricardo Joel Moreira Carvalho*

Autor - Ricardo Joel Moreira Carvalho



# Resumo

Com o avanço da tecnologia, é cada vez mais fácil receber dados e controlar máquinas a longa distância. Nesse sentido, as empresas conseguem melhorar a sua logística contribuindo assim para uma maior satisfação por parte dos seus clientes e, conseqüentemente, reduzir os seus custos. É com base nesta política que se pretende melhorar a performance das máquinas de extração de bebidas à pressão, uma vez que dando-lhes “inteligência”, estas tornam-se mais autónomas e eficientes.

As máquinas mais usadas nos pontos de venda recorrem a ciclos de compressão a vapor para retirarem calor da água presente dentro do depósito da mesma. Esse calor é retirado através do evaporador que está colocado dentro do depósito que, por condução térmica, permite arrefecer a água e conseqüentemente criar gelo.

O bloco de gelo formado funciona como um condensador que neste caso armazena energia calorífica, para que mais tarde possa ser libertada para arrefecer a bebida contida numa serpentina proveniente de um barril. Uma vez arrefecida até cerca de à temperatura ideal de extração (no máximo 7°C dependendo da cerveja) esta é encaminhada até à torneira para ser servida, acompanhada por dois tubos de água do depósito para manter a temperatura de extração.

O crescimento do bloco de gelo é controlado por uma sonda que funciona como interruptor, dando assim informação ao controlo básico da máquina para ligar ou desligar. Esta sonda tende a garantir a capacidade máxima de gelo da máquina, mas por vezes este valor pode ser adulterado devido a esta não estar fixa de forma a que nenhum objeto possa modificar a sua posição.

Neste documento é encontrada uma nova forma de medir a espessura de gelo, bem como uma forma de estimar a massa de gelo contida no depósito. Esta estimativa é feita recorrendo a um modelo termodinâmico que foi desenvolvido em MATLAB. Este modelo permite ainda calcular a massa de gelo perdida numa extração conhecida *à priori*. Este modelo permite ainda saber qual a hora que a máquina deve ser ligada para garantir que a massa de gelo perdida está assegurada.

Por último é desenvolvida uma base de dados em SQL capaz de armazenar os dados provenientes do controlador e dos utilizadores. A esta base de dados está associada uma interface desenvolvida em C++ que permite a inserção e consulta de informação.

**Palavras chave:** Máquina de Extração, Cerveja, Gelo, Calor, Simulação, Temperatura, Tempo Real, Modelo de Previsão, Sondas, Base de Dados, Compressão a Vapor



# Abstract

With recent technological breakthroughs (Internet of Things), it is easier to receive data and control machines over long distances. Companies can improve upon their logistics to generate higher satisfaction levels and consequently reduce costs. It's with this idea in mind that a lot of effort is being made on improving beer extraction devices.

The commonly used machines located in sales points use vapor compression cycles to withdraw the heat of the water inside its tank. That heat is withdrawn by the evaporator which is inside the tank and by thermal conduction allows the cooling of the water for ice creation.

The ice block form works like a capacitor which holds heating energy for later to be released to cool the drinks contained in the barrel's coil. Once cooled until extraction temperature it is forwarded to the tap to be served, accompanied by two water tubes from the tank to maintain the extraction temperature.

The growth of the ice block is controlled by a probe that works like a switch, giving information to turn on or off the machine. This probe ensures the maximum capacity of ice in the machine, but it is often adulterated due to not being fixated.

In this document a new way to measure ice thickness, as well as a way to estimate the ice mass contained in the tank. This estimate is done resorting to a thermodynamic model developed with MATLAB. This model allows the calculation of the mass lost in the extraction, which is known a priori. This model allows to know at what time the machine must be turned on to ensure that the mass of ice lost is assured.

Lastly, a database was developed in SQL capable of storing the data provided by the controller and the users. An interface developed in C++ is associated with this database and allows the insertion and search of information.

**Keywords:** Extraction Machine, Beer, Ice, Heat, Simulation, Temperature, Real-Time, Predictive model, Probes, Database, Steam compression



# Agradecimentos

Gostaria de agradecer ao Professor Armando Araújo pela oportunidade oferecida, bem como pelo apoio e dedicação oferecida ao longo do período da dissertação.

Da mesma forma, quero agradecer à Doutora Cristina Silva e ao Engenheiro Jorge Pires da Unicer por todo o apoio e dedicação, disponibilidade e sobretudo pelo facto de me terem integrado numa equipa de trabalho.

Aos colegas de equipa da Unicer, pela simpatia e colaboração tornando assim a integração mais fácil.

À Engenheira Lúcia Rocha da Unicer pela ajuda disponibilizada sempre que eu precisava de material para poder realizar testes.

Aos Professores Armando Oliveira, Clito Afonso e Joaquim Gabriel pela ajuda prestada nas temáticas de mecânica de fluídos.

Aos meus pais, irmão e avó pelo carinho, orgulho, paciência, incentivo, sacrifício e apoio que fui alvo, contribuindo assim para que HOJE pudesse estar a escrever esta dissertação!

Ao Valter Costa, Susana Neves, Hugo Costa, Tiago Cunha, Peter Cebola, Filipe Lopes e Pedro Tavares por todos os bons momentos passados, pela troca de ideias, pelo trabalho desenvolvido em equipa e sobretudo pelas críticas efetuadas, que contribuíram para melhorar a minha personalidade. Muito obrigado.

Aos meus amigos da terrinha que me ajudaram imenso a "esquecer" por momentos o trabalho, proporcionando verdadeiros momentos de descontração.

A todas as pessoas que, de alguma forma passaram pela minha vida e deixaram a sua marca quero deixar também a minha palavra de apreço.

Muito obrigado a todos...

Ricardo Carvalho





*"Anyone who has never made a mistake has never tried anything new."*

Albert Einstein



# Conteúdo

|          |   |           |
|----------|---|-----------|
| <b>1</b> | <b>Introdução</b>   | <b>1</b>  |
| 1.1      | Motivação . . . . .   | 1         |
| 1.2      | Objetivos . . . . .   | 2         |
| 1.3      | Estrutura da Dissertação . . . . .                            | 3         |
| <b>2</b> | <b>Revisão Bibliográfica</b>                                  | <b>5</b>  |
| 2.1      | Introdução . . . . .  | 5         |
| 2.2      | Composição de uma máquina de extração de bebidas . . . . .    | 5         |
| 2.3      | Sistema de refrigeração da máquina . . . . .                  | 7         |
| 2.3.1    | Depósito de Água . . . . .                                    | 7         |
| 2.3.2    | Máquina Frigorífica . . . . .                                 | 8         |
| 2.3.3    | Caixa de Controlo . . . . .                                   | 8         |
| 2.4      | Funcionamento de uma máquina de extração de bebidas . . . . . | 9         |
| 2.5      | Formas de extração de bebidas . . . . .                       | 10        |
| 2.6      | Refrigeração . . . . .  | 10        |
| 2.6.1    | Ciclo por compressão a vapor ideal . . . . .                  | 10        |
| 2.6.2    | Refrigeração baseada no efeito de Peltier . . . . .           | 12        |
| 2.7      | Sensorização . . . . .  | 12        |
| 2.7.1    | Sensores de temperatura . . . . .                             | 13        |
| 2.7.2    | Caudalímetro . . . . .  | 13        |
| 2.8      | Plataformas de controlo . . . . .                             | 14        |
| 2.8.1    | Arduíno . . . . .   | 14        |
| 2.8.2    | Raspberry Pi e BeagleBone Black . . . . .                     | 15        |
| 2.8.3    | Infineon XMC . . . . .  | 16        |
| 2.9      | Filtro de Kalman . . . . .                                    | 17        |
| 2.9.1    | Estado de Predição . . . . .                                  | 18        |
| 2.9.2    | Estado de Correção . . . . .                                  | 18        |
| <b>3</b> | <b>Hardware</b>   | <b>19</b> |
| 3.1      | Arquitetura do sistema . . . . .                              | 19        |
| 3.1.1    | Nível de gestão . . . . .                                     | 20        |
| 3.1.2    | Nível de controlo . . . . .                                   | 20        |
| 3.2      | Aquisição de temperaturas . . . . .                           | 21        |
| 3.3      | Relógio de tempo real . . . . .                               | 22        |
| 3.4      | Proteção de pinos BeagleBone . . . . .                        | 23        |
| 3.5      | Medição da espessura de gelo . . . . .                        | 23        |
| 3.6      | Deteção da abertura da torneira . . . . .                     | 26        |
| 3.7      | Conclusões . . . . .  | 27        |

|          |  |           |
|----------|--|-----------|
| <b>4</b> | <b>Modelo matemático de uma máquina de extração de bebidas <i>standard</i></b> | <b>29</b> |
| 4.1      | Ganhos energéticos . . . . .   | 29        |
| 4.1.1    | Ganhos energéticos nas Faces laterais . . . . .                                | 30        |
| 4.1.2    | Ganhos energético na tampa do topo . . . . .                                   | 31        |
| 4.1.3    | Ganhos energético da base . . . . .  | 32        |
| 4.1.4    | Extração de bebida . . . . .   | 33        |
| 4.1.5    | Agitador . . . . .   | 34        |
| 4.2      | Capacidade frigorífica da máquina de extração . . . . .                        | 35        |
| 4.3      | Modelização . . . . .  | 35        |
| 4.4      | Conclusão . . . . .  | 36        |
| <b>5</b> | <b>Base de dados</b>   | <b>39</b> |
| 5.1      | Software . . . . .   | 39        |
| 5.2      | Estrutura . . . . .  | 39        |
| 5.3      | Aplicação/Funcionalidades . . . . .  | 40        |
| 5.3.1    | Adicionar/Alterar técnico . . . . .  | 41        |
| 5.3.2    | Adicionar/Alterar máquinas . . . . .   | 41        |
| 5.3.3    | Adicionar/Alterar pontos de venda . . . . .                                    | 41        |
| 5.3.4    | Pesquisa/remoção de dados . . . . .  | 41        |
| 5.3.5    | Adicionar/Editar manutenção . . . . .  | 41        |
| 5.3.6    | Consulta de consumos . . . . .   | 42        |
| 5.3.7    | Definir horário de funcionamento ou eventos . . . . .                          | 42        |
| 5.3.8    | Envio de consumos da BeagleBone para a base de dados . . . . .                 | 42        |
| 5.4      | Conclusão . . . . .  | 43        |
| <b>6</b> | <b>Resultados</b>  | <b>45</b> |
| 6.1      | Análise de Temperaturas . . . . .  | 45        |
| 6.2      | Sondas de gelo . . . . .   | 47        |
| 6.3      | Filtro de Kalman . . . . .   | 49        |
| 6.4      | Estimação do gelo . . . . .  | 49        |
| 6.5      | Consumos <i>à priori</i> . . . . .   | 52        |
| 6.6      | Abertura da torneira . . . . .   | 53        |
| 6.7      | Conclusões . . . . .   | 54        |
| <b>7</b> | <b>Conclusões e Trabalho Futuro</b>  | <b>55</b> |
| 7.1      | Conclusão . . . . .  | 55        |
| 7.2      | Trabalho Futuro . . . . .  | 56        |
| <b>A</b> | <b>Estrutura da base de dados</b>  | <b>57</b> |
| <b>B</b> | <b>Funcionalidades da aplicação</b>  | <b>59</b> |
| <b>C</b> | <b>Simulações</b>  | <b>69</b> |
|          | <b>Referências</b>   | <b>71</b> |

# Lista de Figuras

|      |   |    |
|------|---|----|
| 2.1  | Modelo de instalação de uma máquina de extração de bebidas à pressão . . . . .                                      | 6  |
| 2.2  | Depósito de água . . . . .  | 7  |
| 2.3  | Exemplo de uma máquina frigorífica . . . . .  | 8  |
| 2.4  | Caixa de controlo instalada na máquina . . . . .  | 8  |
| 2.5  | Ciclo de compressão a vapor . . . . .   | 11 |
| 2.6  | Ciclo de compressão a vapor com permutador . . . . .  | 12 |
| 2.7  | Esquema de funcionamento do efeito de Peltier . . . . .   | 12 |
| 2.8  | Esquema de montagem para transdutores num caudalímetro ultrassónico . . . . .                                       | 14 |
| 2.9  | Arduíno Mega . . . . .  | 15 |
| 2.10 | Computadores de placa única . . . . .   | 15 |
| 2.11 | Diagrama de blocos associado ao filtro de Kalman linear . . . . .   | 17 |
| 3.1  | Arquitetura proposta para as máquina de extração de bebidas . . . . .   | 19 |
| 3.2  | Interface desenvolvida em C++ para identificar o endereço dos sensores de temperatura . . . . .                     | 21 |
| 3.3  | Circuito de alimentação dos sensores DS18B20 . . . . .  | 22 |
| 3.4  | Circuito de proteção dos pinos da BBB . . . . .   | 23 |
| 3.5  | Protótipo de sondas metálicas baseadas na medição de resistência elétrica entre dois elétrodo . . . . .             | 24 |
| 3.6  | Protótipo de sondas metálicas discretas . . . . .   | 25 |
| 3.7  | Circuito de aquisição para a sonda discreta . . . . .   | 25 |
| 3.8  | Deteção de abertura da torneira . . . . .   | 26 |
| 4.1  | Corte longitudinal de uma das paredes laterais da máquina na qual se identificam as resistências térmicas . . . . . | 30 |
| 4.2  | Corte longitudinal da tampa do topo da máquina na qual se identificam as resistências térmicas . . . . .            | 31 |
| 4.3  | Corte longitudinal na base da máquina na qual se identificam as resistências térmicas . . . . .                     | 32 |
| 4.4  | Diagrama de blocos do modelo . . . . .  | 35 |
| 5.1  | Interface inicial da aplicação . . . . .  | 40 |
| 6.1  | Disposição dos sensores de temperatura na máquina . . . . .   | 45 |
| 6.2  | Comparação das temperaturas adquiridas nas diferentes zonas da máquina . . . . .                                    | 46 |
| 6.3  | Erro entre temperaturas na zona do depósito . . . . .   | 47 |
| 6.4  | Resistência associada às sondas metálicas com os elétrodo retilíneos e paralelos . . . . .                          | 47 |
| 6.5  | Resistência associada às sondas metálicas com os elétrodo prolongados . . . . .                                     | 48 |
| 6.6  | Funcionamento das sondas discretas dentro do depósito de água . . . . .   | 48 |
| 6.7  | Resultado da simulação do filtro de Kalman . . . . .  | 49 |

|      |  |    |
|------|--|----|
| 6.8  | Tempo de aquisição e armazenamento de dados . . . . .                                | 50 |
| 6.9  | Resultado da temperatura da água do depósito real e simulada (1º ensaio) . . . .     | 50 |
| 6.10 | Resultado da temperatura da água do depósito real e simulada (2º ensaio) . . .       | 51 |
| 6.11 | Resultado da massa de gelo simulada ao fim de 250 minutos . . . . .                  | 51 |
| 6.12 | Resultado de massa de gelo perdida . . . . .   | 52 |
| 6.13 | Resultados obtidos relativamente à deteção da abertura da torneira . . . . .         | 53 |
| A.1  | Estrutura da base de dados . . . . .   | 58 |
| B.1  | Adicionar novas configurações de máquinas . . . . .                                  | 59 |
| B.2  | Janelas relativas à adição de novas máquinas . . . . .                               | 60 |
| B.3  | Configurar sensores na BBB (versão 1) . . . . .                                      | 61 |
| B.4  | Alterar configurações relativas ao técnico . . . . .                                 | 61 |
| B.5  | Autenticação dos responsáveis pelos estabelecimentos . . . . .                       | 62 |
| B.6  | Criar um novo técnico . . . . .  | 62 |
| B.7  | Pesquisa de dados . . . . .  | 63 |
| B.8  | Alterar dados do ponto de venda . . . . .  | 63 |
| B.9  | Criar um novo ponto de venda . . . . .   | 64 |
| B.10 | Configurar um evento . . . . .   | 64 |
| B.11 | Estado de manutenção de uma máquina . . . . .  | 65 |
| B.12 | Pesquisa gráfica de dados(versão inicial) . . . . .                                  | 65 |
| B.13 | Menu de autenticação . . . . .   | 66 |
| B.14 | Preenchimento obrigatório dos campos de texto . . . . .                              | 66 |
| B.15 | Falha na conexão à BBB . . . . .   | 67 |
| C.1  | Estimação da massa de gelo perdida numa extração conhecida <i>à priori</i> . . . . . | 70 |

# Lista de Tabelas

|     |  |    |
|-----|--|----|
| 2.1 | Comparação entre a Raspberry Pi e a BeagleBone Black . . . . .                         | 16 |
| 3.1 | Comprimento e massa de gelo associada às varetas da sonda discreta . . . . .           | 26 |
| 4.1 | Constantes térmicas . . . . .  | 31 |
| 4.2 | Dimensões das faces da máquina . . . . .   | 31 |
| 4.3 | Dimensões do topo da máquina . . . . .   | 32 |
| 4.4 | Dimensões da base da máquina . . . . .   | 33 |
| 6.1 | Perda de massa numa extração conhecida <i>à priori</i> . Resultados simulados vs reais | 52 |
| 6.2 | Comparação entre os tempos de abertura medidos pelo algoritmo e osciloscópio .         | 54 |





# Abreviaturas e Símbolos

## Abreviaturas

|        |  |
|--------|--|
| AC     | Corrente Alternada                                 |
| ADC    | <i>Analog-to-Digital Converter</i>                 |
| AISI   | <i>American Iron and Steel Institute</i>           |
| bar    | Unidade de Pressão                                 |
| BBB    | <i>BeagleBone Black</i>                            |
| CAN    | <i>Controller Area Network</i>                     |
| CPU    | <i>Central Processing Unit</i>                     |
| DC     | Corrente Continua                                  |
| div    | Divisão  |
| FEUP   | Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto   |
| GPIO   | <i>General-Purpose Input/Output</i>                |
| HMI    | <i>Human-Machine Interface</i>                     |
| IDE    | <i>Integrated Development Environment</i>          |
| I/O    | <i>Input/Output</i>                                |
| $I^2C$ | <i>Inter-Integrated Circuit</i>                    |
| LED    | <i>Light Emitting Diode</i>                        |
| MATLAB | <i>MATrix LABoratory</i>                           |
| min    | Minutos  |
| NTC    | <i>Negative Temperature Coefficient</i>            |
| NTP    | <i>Network Time Protocol</i>                       |
| PC     | <i>Personal Computer</i>                           |
| PTC    | <i>Positive Temperature Coefficient</i>            |
| PWM    | <i>Pulse-Width Modulation</i>                      |
| PVC    | Policloreto de Vinil                               |
| RTC    | <i>Real Time Clock</i>                             |
| SBC    | <i>Single-Board Computer</i>                       |
| SD     | <i>Secure Digital</i>                              |
| SPI    | <i>Serial Peripheral Interface</i>                 |
| SQL    | <i>Structured Query Language</i>                   |
| TP     | Tara Perdida                                       |
| TR     | Tara Retornável                                    |
| TRIAC  | <i>Triode for Alternating Current</i>              |
| UART   | <i>Universal Asynchronous Receiver/Transmitter</i> |
| USB    | <i>Universal Serial Bus</i>                        |
| VNC    | <i>Virtual Network Computing</i>                   |

**Símbolos**

|                     |                                   |                        |
|---------------------|-----------------------------------|------------------------|
| A                   | Ampère                            | -                      |
| $c_p$               | Calor específico                  | $J/kg \cdot ^\circ C$  |
| $^\circ C$          | Grau Celsius                      | -                      |
| $CO_2$              | Dióxido de Carbono                | -                      |
| cl                  | Centilitros                       | -                      |
| e                   | Espessura do material             | m                      |
| h                   | Coefficiente de convecção térmica | $W/m^2 \cdot ^\circ C$ |
| J                   | Joule                             | -                      |
| K                   | Kelvin                            | -                      |
| kg                  | Quilograma                        | -                      |
| L                   | Litro                             | -                      |
| $L_f$               | Calor latente de fusão da água    | $J/kg$                 |
| m                   | Metro                             | -                      |
| $\dot{m}$           | Caudal mássico                    | $kg/s$                 |
| massa               | Massa                             | kg                     |
| $\dot{Q}$           | Potência Calorífica               | W ou $J/s$             |
| $R_{equi\_térmica}$ | Resistência térmica equivalente   | $^\circ C/W$           |
| s                   | Segundo                           | -                      |
| S                   | Área/Secção                       | $m^2$                  |
| T                   | Temperatura                       | $^\circ C$             |
| V                   | Volt                              | -                      |
| $\dot{V}$           | Caudal volúmico                   | $L/hora$               |
| Vol                 | Volume                            | $m^3$                  |
| W                   | Watt                              | -                      |
| $\Omega$            | Ohm                               | -                      |
| $\rho$              | Massa específica                  | $kg/m^3$               |
| $\lambda$           | Condutibilidade térmica           | $W/m \cdot ^\circ C$   |

# Capítulo 1

## Introdução

Este capítulo tem como objetivo introduzir todo o trabalho a ser desenvolvido nesta dissertação. Assim, apresenta-se de seguida a motivação que despertou o interesse por este tema. Seguidamente enumeram-se os objetivos a alcançar no final da dissertação. Finalmente, a última parte deste capítulo descreve o modo como este documento se encontra estruturado.

### 1.1 Motivação

*“A eficiência energética é a otimização que realizamos no consumo de energia” [1].*

O processo de transformação de energia é um problema transversal de Engenharia que tem em consideração os desperdícios energéticos.

A utilização eficiente da energia permite uma poupança não só energética mas também financeira, quer para as empresas quer para o país onde se situam, pois assim consegue-se reduzir a dependência energética por parte de terceiros.

No ano de 2013, cerca de 32,5% da energia elétrica foi gasta em Portugal pela indústria transformadora, sendo que estes gastos estão associados ao acionamento de motores, sistemas de compressão, ventilação e bombagem, produção de calor e frio entre outros [2, 3].

A indústria cervejeira, como é o caso da Unicer, necessita de estratégias para maximizar a eficiência dos seus refrigeradores, nomeadamente das máquinas de extração de bebidas à pressão. O seu desenho arquitetónico atual apresenta várias fragilidades quer a nível energético, quer a nível de controlo, o que levou já a um novo conceito de uma máquina de extração de bebidas à pressão invertida, desenvolvido em colaboração com a FEUP. Tal consistiu na troca de posições entre o depósito de água e o compressor associado à refrigeração [4].

Sendo a Unicer detentora de mais de 20 mil máquinas de extração, é necessário encontrar uma forma simples e eficaz de melhorar o controlo das mesmas e, consequentemente, a eficiência energética. Tal deve ser realizado sem que a sua arquitetura sofra demasiadas alterações já que os custos associados a estas serão elevados, dado o parque de máquinas que a Unicer detém.

Deste modo, a necessidade de poupança energética motivou o projeto que originou a presente dissertação. Assim, esta tem como principais objetivos a monitorização em tempo real de uma

máquina de extração de bebidas, bem como a criação de um modelo associado à formação do bloco de gelo. Tal deverá permitir, numa primeira fase, utilizando uma tabela pré programada, associada ao consumo diário previsto, ligar e desligar a máquina com base na mesma. Note-se que, atualmente, o controlo é do tipo “on/off” desligando a máquina sempre que o bloco de gelo atinge o volume máximo e ligando 21 minutos depois.

## 1.2 Objetivos

Como já exposto, nesta dissertação os objetivos passam pela implementação de um sistema de sensores/atuadores que, associados a um SBC (*Single-Board Computer*), irão permitir monitorizar e controlar, em tempo real e com acesso a uma rede *Ethernet*, uma máquina de refrigeração de bebidas. A partir do conhecimento comportamental, retirado pelo sistema de sensorização, irá obter-se uma estimativa dos tempos necessários para se obter uma determinada massa de gelo. Estes tempos irão depois servir para validar um modelo termodinâmico a desenvolver e que é também um dos objetivos desta dissertação. Futuramente, pretende-se prever a quantidade de gelo necessária em cada bloco temporal, blocos esses definidos pelo utilizador para cada dia de funcionamento. Assim, poderá estimar-se (em vez de se pré definir) um horário para ligar/desligar a máquina, de modo a utilizar-se apenas a energia estritamente necessária para a tiragem horária de bebida.

Assim, na prossecução destes objetivos serão necessários os seguintes passos:

- Estudar o funcionamento atual das máquinas de refrigeração.
- Escolher os sensores, atuadores e SBC adequados ao sistema a desenvolver.
- Implementar o sistema de monitorização na máquina.
- Desenvolver e validar um modelo matemático associado à produção da massa de gelo.
- Validar o processo num ponto de venda.

Para além do exposto será implementada uma base de dados para armazenamento de dados provenientes do controlador, tal como os dados introduzidos pela Unicer ou responsáveis por pontos de venda, bem como uma interface para a deteção dos sensores de temperatura de uso transparente para a equipa de manutenção. Note-se que a base de dados, poderá ser acedida via *web* ou, na falta de rede, através de um cartão de memória SD.

Exposta a motivação e terminada a introdução ao trabalho desenvolvido, apresenta-se de seguida a estrutura desta dissertação.

## 1.3 Estrutura da Dissertação

O presente documento encontra-se dividido nos seguintes capítulos:

- **Introdução** - A introdução, já apresentada, pretende dar a conhecer qual a motivação para o desenvolvimento da dissertação, bem como os principais objetivos a alcançar.

- **Revisão Bibliográfica** - A revisão bibliográfica pretende absorver o estado da arte no que concerne o controlo das máquinas de extração de bebidas, de modo a permitir uma decisão fundamentada sobre o caminho a seguir nesta área. Fez-se ainda uma revisão do estado da arte no que respeita ao *hardware* nomeadamente os sensores de temperatura, caudal bem como a SBCs. O ciclo térmico, associado a este tipo máquinas, e um algoritmo de estimação, mais propriamente um filtro de Kalman, foram também objeto de estudo.

- **Hardware** - Este capítulo introduz todo o *hardware* desenvolvido para a concretização dos objetivos. Assim, é primeiramente descrita a arquitetura a implementar. Seguidamente, apresenta-se o sistema associado à aquisição das temperaturas nos vários pontos de interesse. O capítulo prossegue com a abordagem à inclusão de um relógio de tempo real, bem como com a proteção dos I/Os do SBC. Por fim é apresentado o *hardware* associado à medida da massa de gelo e ainda o *hardware* que permite o controlo, “on/off” dos três motores do sistema: compressor, ventilador e agitador.

- **Modelo matemático de uma máquina de extração de bebidas standard** - Neste capítulo é apresentado o modelo termodinâmico associado à máquina de extração de bebidas à pressão. O modelo parte das equações do calor de modo a permitir que estas sejam capazes de serem solucionadas em tempo real pelo SBC escolhido. O modelo matemático foi primeiramente implementado e testado no ambiente de simulação MATLAB, de modo a poder ser rapidamente validado por confrontação com resultados experimentais.

- **Software** - O *software* desenvolvido é apresentado neste capítulo. Concretamente desenvolveram-se aplicações para os três ambientes em jogo: o SBC, o PC e o servidor *web*. Para o SBC, foi desenvolvida uma aplicação, em C++, para monitorização da máquina, bem como o interface com a base de dados. No que respeita ao PC, foi desenvolvida um aplicação, em C++, que permite a interface com o pessoal do ponto de venda e da equipa de manutenção. Finalmente foi realizada uma aplicação em SQL associada à criação da base de dados.

- **Resultados** - Este capítulo expõe e discute os resultados obtidos de acordo com os objetivos expostos. Assim, apresentam-se inicialmente os resultados associados ao sistema de monitorização em tempo real. O capítulo prossegue com os resultados obtidos pelo modelo que calcula a massa de gelo, bem como a temperatura da água do depósito, sem as perturbações introduzidas pela extração de bebida. Finalmente, apresentam-se os resultados do modelo na estimação da massa de gelo com as perturbações introduzidas pela extração

de bebida. O modelo calcula a hora a que se deve ligar a máquina de modo a garantir a formação da massa de gelo adequada de acordo com as tiragens futuras previstas.

- **Conclusões e Trabalho Futuro** - O trabalho termina com este capítulo que, para além das conclusões, faz referência ao trabalho a realizar, bem como alguns possíveis pontos de melhoria.

## Capítulo 2

# Revisão Bibliográfica

### 2.1 Introdução

Neste capítulo é apresentado o levantamento bibliográfico dos principais assuntos associados ao tema em estudo nesta dissertação. Será inicialmente abordada a composição de uma máquina de extração de bebidas à pressão bem como uma breve descrição de cada constituinte. Haverá ainda lugar para introduzir o funcionamento de uma máquina de extração e quais os modos de extração de bebidas. São ainda introduzidas noções sobre refrigeração e ciclos de compressão a vapor e para finalizar, serão descritas quais as plataformas de prototipagem usadas neste tipo de máquinas bem como a parte sensorial presente nas mesmas. Também será dado a conhecer um algoritmo de estimação linear com o objetivo de melhorar a estimação da massa.

### 2.2 Composição de uma máquina de extração de bebidas

As máquinas de extração de bebidas convencionais têm como funcionalidades retirar o líquido armazenado no barril, arrefecê-lo até à temperatura ideal (valor dependente do tipo de bebida) para consumo e encaminhá-lo até à torneira. Esta sequência de passos é praticamente instantânea, sendo que a bebida está continuamente a circular dentro da máquina enquanto a torneira se encontra aberta.

Este tipo de máquinas apresentam-se no mercado sob diferentes formas (horizontal ou vertical), capacidades e número de colunas de extração [5]. Atualmente existe um modelo invertido da máquina, que consiste na troca de posições relativamente ao compressor e ao depósito de água. No entanto, nesta dissertação o objeto de estudo será uma máquina convencional de 100L, vertical e com apenas uma coluna de extração como mostra a figura 2.1 [6].

A máquina de extração de bebidas pode ser comparada a um frigorífico, pois tem como objetivo retirar calor do seu interior para que se consiga obter a temperatura ideal para a extração de cerveja. O *setup* da máquina é constituído por:

1. **Botija de  $CO_2$**  - É responsável por armazenar este gás a uma pressão que se aproxima dos 50 bar. A diferença de pressão faz com que o líquido passe do barril para o interior da máquina;
2. **Regulador de Pressão** - Tem como função regular a pressão do gás que entra no barril, garantindo que este esteja entre os 2 e 3 bar [7]. Possui 2 manómetros, um para medir a pressão do barril e outro para medir a pressão de gás presente dentro da botija.
3. **Válvula Extratora** - Permite ligar o barril à máquina de extração. É através desta válvula que o líquido sai do barril devido à injeção de gás pressurizado no mesmo [8].
4. **Barril** - É um objeto oco, em forma de cilindro construído em inox ou poliuretano. Possui diferentes alturas e diâmetros em função da capacidade e do produto que transporta no interior (vinho, cerveja ou refrigerantes);
5. **Sistema de Refrigeração** - Permite o arrefecimento do fluído contido dentro do barril. Os constituintes deste elemento do *setup* serão descrito com mais detalhe na secção 2.3 .
6. **Tubagem** - A tubagem de *python* permite que o fluído circule desde o barril até à torneira, passando pelo interior do sistema de refrigeração.
7. **Coluna de Extração** - É composta por uma torneira e por dois tubos que por vezes se encontram envolvidos por uma "carcaça". Estes dois tubos (um de ida e outro de retorno) vindos do depósito de água, permitem que sejam minimizadas as trocas de calor entre o fluído a ser servido e o exterior. A torneira pode ter diversos formatos consoante as marcas e o produto a ser extraído. É um elemento bastante sensível que pode ter influência no resultado final da bebida [7].

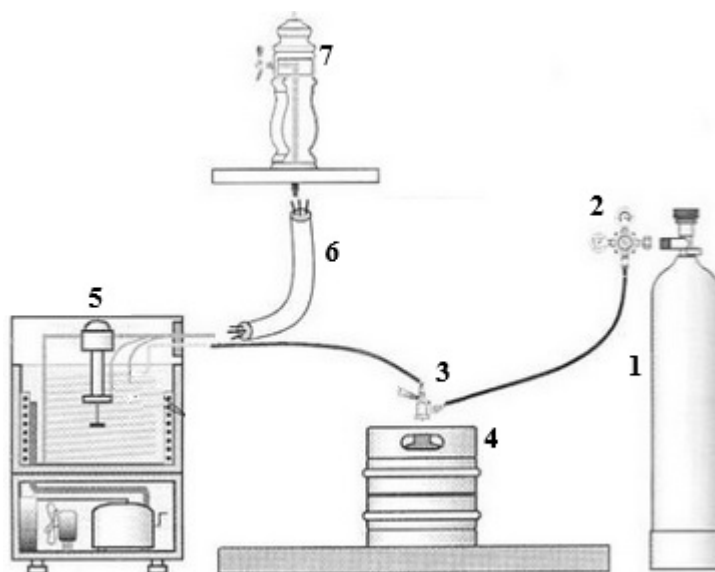


Figura 2.1: Modelo de instalação de uma máquina de extração de bebidas à pressão [9]



## 2.3 Sistema de refrigeração da máquina

O sistema de refrigeração é um dos elementos do *setup* onde se pode operar para que se possa melhorar a eficiência da máquina. Este pode ser dividido em três partes sendo elas o depósito de água (2.3.1), a máquina de refrigeração (2.3.2) e a caixa de controlo (2.3.3).

### 2.3.1 Depósito de Água

O depósito de água é um dos dez principais constituintes do sistema de refrigeração. Este é uma cuba em aço inox (AISI 304), isolado no fundo e lateralmente com poliuretano injetado de alta densidade em que cada face interior é revestida por uma placa de polímero (PVC). O depósito de água da máquina em estudo tem capacidade para 52L de água, sendo que parte desta se encontra no estado sólido (aproximadamente 20kg de gelo) [10]. O **evaporador** que se encontra numa zona periférica do interior do depósito, é construído com recurso a tubos de cobre de  $\frac{3}{8}$  polegada de diâmetro, cujo comprimento varia com a capacidade das máquinas. Dentro deste mesmo depósito ainda existe espaço para a **serpentina da bebida** responsável pelas trocas de calor entre a bebida e a água.

Assumindo que a formação de gelo é simétrica em todos os pontos do evaporador, deve-se garantir que o gelo formado não envolve a serpentina da bebida. Para tal é colocada no evaporador uma **sonda de controlo de espessura de gelo** [10] que mede a resistência elétrica do meio envolvente através de dois eletrodos. Assim que o gelo envolve toda a superfície de contacto dos eletrodos, o **controlador** faz parar o **compressor** e a **ventoinha** interrompendo assim o ciclo frigorífico. Na realidade a formação de gelo não é simétrica, pelo que se conclui que a sonda é pouco fiável, pois não garante que a quantidade de gelo real seja a que se estimou [6]. Por último, tem-se o sistema responsável por uniformizar a temperatura da água dentro do depósito. Este sistema usa um motor elétrico ligado a uma hélice e é denominado **agitador**. Em paralelo, este tem também como função bombear água do depósito para a coluna de extração, garantindo o arrefecimento da bebida. A figura 2.2 ilustra de uma forma mais clara a disposição de alguns constituintes supramencionados.

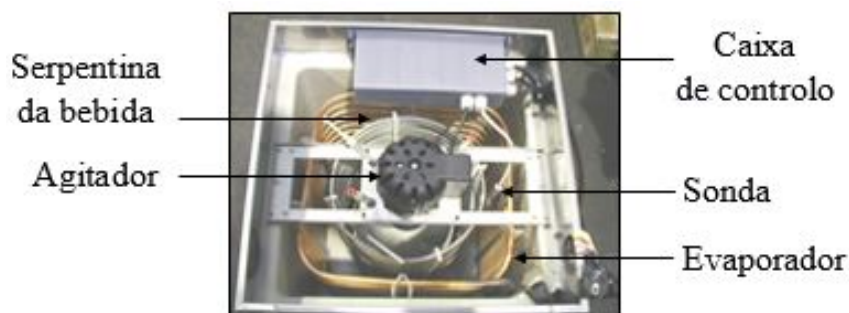


Figura 2.2: Depósito de água [5]

### 2.3.2 Máquina Frigorífica

O propósito da máquina frigorífica é a criação de gelo dentro do depósito de água. A maior parte dos seus constituintes encontram-se por baixo deste mesmo depósito. Para que o seu propósito seja satisfeito, é fundamental que a máquina contenha um compressor, um evaporador, uma **válvula de expansão** e um **condensador** como se pode observar na figura 2.3.



Figura 2.3: Exemplo de uma máquina frigorífica [11]

O funcionamento base deste tipo de máquinas baseia-se num compressor que recebe vapor do evaporador comprimindo-o até que seja atingida a pressão de condensação e libertando-o posteriormente para o condensador. É no condensador que o fluido refrigerante dissipa calor para o ambiente, sendo este processo acelerado com recurso a uma ventoinha. Depois de terminada a condensação, o fluido entra numa válvula de expansão até que a pressão de evaporação seja atingida. Depois de atingida a pressão desejada, o fluido entra no evaporador e começa a retirar calor do depósito de água, baixando assim a temperatura dentro do mesmo. Posto isto o ciclo repete-se.

Na máquina disponibilizada para estudo, o fluido refrigerante é o "R134A"[10].

### 2.3.3 Caixa de Controlo

A caixa de controlo de funcionamento da máquina em estudo é o modelo "AL-901 C" da Barcinova [10]. Esta, para além de ligar e desligar o compressor e a ventoinha, também permite ligar o agitador bem como o condensador que lhe está associado.



Figura 2.4: Caixa de controlo instalada na máquina [12]

Como se verifica na figura 2.4, existe ainda um *slot* para ligar a sonda de espessura de gelo e outro que recebe a alimentação proveniente da rede elétrica.

Depois de o microcontrolador, que está inserido na caixa de controlo, ter dado ordem para desligar, a ventoinha e o compressor têm 21 minutos de pausa até que o microcontrolador dê nova ordem de ativação. Para além disto, o microcontrolador evita que existam arranques sucessivos da máquina frigorífica colocando um atraso de 30 segundos entre atuações [12]. Neste tipo de caixa de controlo, o arranque dos motores é feito com recurso a relés, ao invés de atuadores baseados em semicondutores, tais como TRIACs, o que causa desgaste mecânico contribuindo para um menor ciclo temporal associado à manutenção das máquinas.

## 2.4 Funcionamento de uma máquina de extração de bebidas

A máquina frigorífica pode ser dividida em dois circuitos, o da bebida gaseificada e o da refrigeração.

Quanto ao circuito da bebida gaseificada, esta sai do barril em que se encontra e é encaminhada para a respetiva serpentina que se situa no depósito de água. É nesta serpentina que se dão as trocas de calor entre a bebida, neste caso cerveja, e a água gelada, sendo posteriormente encaminhada para a coluna de extração para depois ser servida. A pressão de 2,5 bar é garantida pela injeção de  $CO_2$  (contido numa botija) no circuito da bebida, sendo que esta pressão é regulada por um manómetro.

No que diz respeito ao circuito de refrigeração, o seu objetivo é congelar parte da água existente no depósito. Para que isso se verifique, é necessário que os ganhos de transferência de calor sejam vencidos por parte do circuito de refrigeração. Os ganhos mais preocupantes são claramente os provenientes da base do depósito, pois é por baixo deste que se encontram os elementos que libertam maior calor. Por sua vez, o agitador também introduz calor quer através do seu veio, quer através da água bombeada que aqueceu devido à circulação da cerveja na coluna.

Quando a sonda de gelo fica coberta por este, é dada ordem à máquina (compressor e ventoinha) para desligar. Estando esta desligada, a massa de gelo vai derretendo, quer devido ao caudal de bebida extraída, quer devido às transferências de calor com o exterior. Mesmo que a sonda de gelo não esteja coberta, a máquina só volta a ser ligada 21 minutos depois, evitando assim que o compressor se danifique devido aos arranques dentro de um pequeno período de tempo. Após esta paragem, a máquina volta a arrancar e trabalha o tempo necessário até que a massa de gelo pré-definida seja atingida que, neste caso, é de cerca de 20kg [10]. Na realidade, estes 20kg de gelo são uma aproximação pois a formação de gelo não é uniforme em todos os pontos do evaporador, podendo por vezes existir mais gelo numa das faces do evaporador do que noutras.

## 2.5 Formas de extração de bebidas

O modo de instalação de bebidas à pressão depende de vários factores, como por exemplo o ponto de venda e a quantidade de bebida extraída, pois só assim se obtém a melhor qualidade da cerveja.

A cerveja à pressão é distribuída em barris de tara perdida, tara retornável ou *Beer Drive*, sendo que estes últimos possuem uma capacidade de 500L ou 1000L, permitindo uma maior extração de cerveja sem correr o risco de exceder a capacidade de arrefecimento das máquinas de extração, pois estes depósitos de inox já possuem o seu próprio sistema de arrefecimento [7].

Os barris TR têm capacidades de 30L e 50L e são utilizados em pontos de venda que possuam uma cadência de cerveja regular. No que diz respeito aos barris TP, estes têm capacidades de 5L e 20L e são usados em clientes privados ou em estabelecimentos com uma menor capacidade de extração, respectivamente [7, 13, 14].

Para melhorar a qualidade da cerveja a ser extraída, os barreis são por vezes arrefecidos em arcas frigoríficas de modo a baixar a temperatura da cerveja contida nos barreis para um valor próximo da temperatura de ideal para extração. Esta política aplica-se sobretudo a estabelecimentos onde os barreis estão distantes das colunas de extração, impedindo não só um sobreaquecimento excessivo da cerveja, mas também minimizar as trocas de calor entre a cerveja e a água do depósito.

## 2.6 Refrigeração

A refrigeração define-se como um processo de transferência de calor entre pelo menos dois meios, com a finalidade de reduzir a temperatura. Antes da existência dos refrigeradores mecânicos, o Homem procurava alternativas para a refrigeração e posterior conservação dos alimentos. Essas alternativas passavam pela recolha de gelo ou neve, que seriam depois armazenadas em caves de arrefecimento. Um escocês, de seu nome William Cullen, foi o primeiro a estudar a evaporação de líquidos, sendo que em 1748 demonstrou o primeiro refrigerador artificial [15].

Um dos primeiros mercados a perceber a importância dos refrigeradores foi o mercado da cerveja, pois assim conseguiam manter um produto uniforme ao longo de todo o ano [15].

Atualmente existem diversos sistemas de refrigeração, sendo que se destacam os sistemas baseados no efeito de Peltier, ciclos de absorção e os ciclos de compressão a vapor construídos por Jacob Perkins em 1834.

### 2.6.1 Ciclo por compressão a vapor ideal

O ciclo de compressão a vapor é constituído por quatro elementos básicos: o compressor, o condensador, o evaporador e a válvula de expansão. Estes elementos, para desempenharem a sua função corretamente, necessitam que exista um fluido frigorigéneo a circular.

As transformações físicas sofridas por este fluido ao longo de todo o ciclo fazem com que exista refrigeração. O conjunto formado pelos quatro elementos e pelo fluido faz com que o ciclo

de vapor seja dividido em duas secções sendo uma de baixa pressão e outra de alta pressão como é visível na figura 2.5. Esta topologia é a mais usada em frigoríficos, bombas de calor ou até mesmo em máquinas de extração de bebidas, sendo composta por quatro processos (ver figura 2.5) [16]:

- 1 para 2 - Dá-se uma compressão isentrópica no compressor;
- 2 para 3 - Libertação de calor a pressão constante no condensador;
- 3 para 4 - Regulação de pressão na válvula de expansão;
- 4 para 1 - Absorção de calor a pressão constante no evaporador.

Durante o processo de compressão isentrópica (devido ao ciclo ser reversível e adiabático), a temperatura e pressão do fluido vão aumentar. O refrigerante entra no condensador e é aqui que este troca calor com o ambiente. Estas trocas acontecem porque a temperatura do refrigerante é superior à do meio ambiente. Passado o condensador, o refrigerante segue para o elemento de expansão que não é nada mais nada menos que um tubo capilar. O aumento da secção do tubo, à saída do condensador, provoca uma expansão súbita, o que permite baixar de uma forma abrupta a pressão e temperatura do fluido. Este, ao entrar no evaporador (deve estar inserido na zona que se pretende arrefecer), vai retirar calor do volume a arrefecer, pois a temperatura do refrigerante é menor que a deste. Posto isto, o refrigerante entra no compressor e o ciclo repete-se [16].

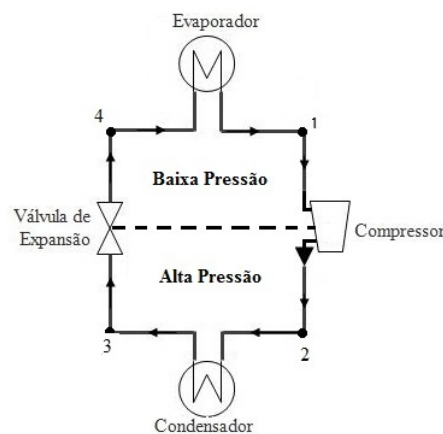


Figura 2.5: Ciclo de compressão a vapor

Para melhorar a eficiência deste ciclo de compressão, algumas arquiteturas introduzem um permutador de calor (como mostra a figura 2.6) para que o fluido frigorigéneo sofra um sobreaquecimento. Este permutador permite que alguma energia térmica do fluido, à saída do condensador, seja transferido para o mesmo quando este se encontra à saída do evaporador. Assim garante-se que o refrigerante está no estado gasoso à entrada do compressor, evitando assim potenciais avarias.

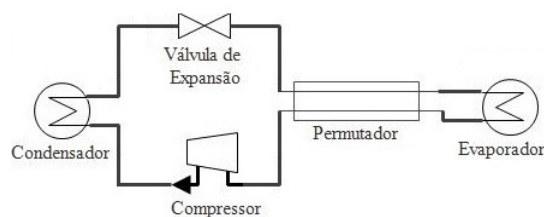


Figura 2.6: Ciclo de compressão a vapor com permutador

### 2.6.2 Refrigeração baseada no efeito de Peltier

Jean Charles Athanase Peltier descobriu em 1834 que a passagem de corrente elétrica por uma junção de dois materiais (condutores ou semicondutores) distintos provoca um arrefecimento ou aquecimento. Heinrich Lenz mostrou que este efeito é reversível, isto é, trocando o sentido do fluxo elétrico, a junção quente e junção fria também trocam entre si, sendo o calor produzido proporcional à corrente elétrica que atravessa a junção [17].

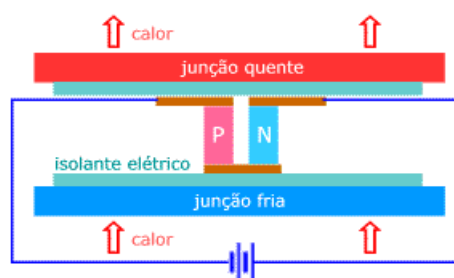


Figura 2.7: Esquema de funcionamento do efeito de Peltier [18]

Como se observa na figura 2.7, a passagem de corrente elétrica contínua no terminal do tipo N permite que os eletrões migrem do material do tipo P para o do tipo N. Com base neste efeito, as junções permitem a circulação do fluxo de calor. Este sistema de refrigeração tem a vantagem de possuir um tamanho reduzido e sobretudo pela ausência de peças móveis tais como compressor, evaporador ou fluidos frigorigéneos. Estas características permitem que este sistema seja inserido em aplicações específicas, tais como a refrigeração localizada, máquina de bebidas ou até mesmo em sistemas isotrópicos.

A baixa eficiência de refrigeração é uma das limitações destes sistemas, o que impede não só o arrefecimento de grandes áreas, mas também o rápido arrefecimento do material ou fluido em questão [19].

## 2.7 Sensorização

Os sensores são responsáveis por monitorizar uma dada grandeza física, sendo esta depois convertida em sinais de tensão ou corrente. No caso da monitorização das máquinas de extração de bebidas, com o objetivo de saber o estado atual da máquina, irão ser necessários um conjunto

de sensores que meçam a temperatura, pressão, resistência, tensão e corrente elétrica, bem como o fluxo do líquido.

### 2.7.1 Sensores de temperatura

Os sensores de temperatura a instalar neste tipo de máquinas, devem ter um tamanho reduzido, baixo custo e grande sensibilidade às variações de temperatura. Apesar do mercado oferecer muitas soluções que cumprem estes requisitos, um dos possíveis tipos de sensores a instalar nestas máquinas são sensores analógicos cuja resistência elétrica varia com a temperatura. Tais serão, por exemplo, sensores do tipo termístor NTC/PTC. O sinal de saída destes sensores não é linear, pelo que é necessário desenvolver um circuito de condicionamento de sinal para que o microcontrolador possa interpretar os valores de saída dos sensores [20].

No entanto, sendo o ambiente da máquina de extração muito húmido e sujeito a muita condensação, estes sensores, após instalação e teste, revelaram pouca resistência, pois o constante contacto com este ambiente hostil acelera o processo de degradação dos mesmos.

Para combater esta adversidade, o mercado oferece sensores à prova de água que cumprem igualmente os requisitos impostos. Um possível tipo de sensores adequados são os da família DS18B20 *waterproof* que, para além de se poderem imergir na água, possuem uma saída digital, o que não obriga a um circuito de condicionamento de sinal como era o caso dos NTC previamente utilizados.

Com este tipo de sensores, é possível construir um barramento 1-Wire, onde se podem interligar vários sensores visto que cada um possui um endereço que é único [21]. Assim, foram estes os sensores utilizados no projeto.

### 2.7.2 Caudalímetro

Os sensores para medição de caudal podem ser de vários tipos tais como, mecânicos, ultra-sons e eletromagnéticos.

Os caudalímetros mecânicos usam o caudal do fluído para criar movimento numa turbina, pistão, etc. O fluído ao passar por um destes elemento, vai fazer com que o movimento gerado seja convertido em sinais elétricos podendo ser depois interpretados por um microcontrolador. Possuem baixo custo, o que os torna muito utilizados na indústria. Estes sensores quando colocados na tubagem fazem com que a quantidade de espuma de cerveja aumente, o que é indesejável aquando da extração.

Para combater esta adversidade, é comum instalar-se este tipo de caudalímetros antes da entrada de bebida na serpentina, pois qualquer espuma que circule dentro da mesma será minimizada devido às temperaturas baixas.

Os sensores ultrassónicos não têm a necessidade de estarem em contacto direto com o fluído, o que os torna uma mais valia para a aplicação em causa. Estes são compostos por dois transdutores (um emissor e um recetor de som) cujo sinal atravessa a secção do tubo como mostra a figura 2.8.

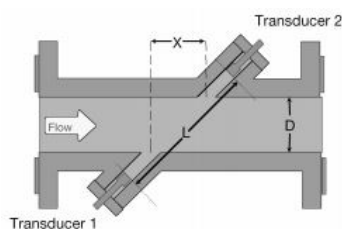


Figura 2.8: Esquema de montagem para transdutores num caudalímetro ultrassónico [22]

Estes caudalímetros, utilizam a diferença do tempo de propagação, para medir a velocidade do fluxo de um determinado fluido com base em sinais acústicos. Apresentam maior resolução face aos mecânicos, sendo que o custo é um espelho deste aumento.

Quanto aos magnéticos, estes baseiam-se no fenómeno da indução eletromagnética descoberta por Faraday. Quando um condutor em movimento interfere no fluxo magnético, cria uma força eletromotriz que no caso destes sensores é diretamente proporcional ao caudal. São sensores bastante caros e apenas usados em situações que obrigue a uma precisão inferior às centésimas.

Como neste sistema de monitorização das máquinas não se procura elevada precisão no volume de bebida que está a passar na tubagem, uma solução barata e eficaz foi a que o Engenheiro Ricardo Reis desenvolveu. Esta solução, baseada na Lei de Ohm, permite saber se na tubagem está a passar cerveja ou espuma e consequentemente permite calcular a quantidade de cerveja retirada com base nos tempos de abertura e fecho da torneira [7].

## 2.8 Plataformas de controlo

A integração dos sensores com o algoritmo de controlo e monitorização é, hoje em dia, preferencialmente assente num microcontrolador, pois é um elemento económico (em relação a outras opções, por exemplo computadores industriais e autómatos) e versátil. No entanto, o mercado oferece soluções mais complexas que integram não só a parte de *hardware* mas também o *software* necessário para o funcionamento destes. Estas soluções abrangem desde plataformas de prototipagem eletrotécnica (exemplo: Arduíno) a computadores de placa única, SBC, (exemplo: BeagleBoard).

### 2.8.1 Arduíno

É uma plataforma *open-source* de interface simples que permite interagir com sensores, controlar motores ou outra saída física, tendo como base as suas entradas e saídas, quer analógicas quer digitais. São económicos em comparação com outras plataformas de prototipagem e sobretudo são de fácil programação, podendo a linguagem de programação ser expandida através de bibliotecas C++ [23]. O *hardware* dos Arduínos pode ser facilmente escalonado, isto é, basta adicionar módulos (fornecidos pela Arduíno) que implementam funcionalidades extra, como por exemplo um módulo de Ethernet. Todos os algoritmos que os utilizadores produzem são implementados em microcontroladores da Atmel, mais propriamente o ATmega8 e ATmega16. A



programação é feita com recurso a um computador, sendo depois o programa transferido (por USB ou porta série) para o microcontrolador.

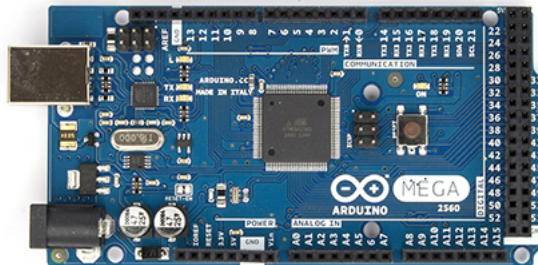
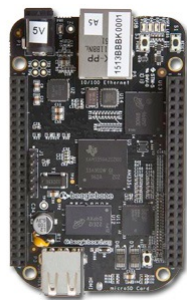


Figura 2.9: Arduino Mega [24]

O microcontrolador utilizado em versões anteriores de monitorização, realizadas na FEUP, foi o Arduino Mega (figura 2.9), pois este fornece o números de entradas e saídas necessárias para ligar todos os sensores e atuadores. Para além disso tem entradas e saídas disponíveis para interligar módulos adicionais, tais com Ethernet, RTC, Bluetooth ou mesmo um suporte para cartões de memória SD. Em comparação com o Arduino Due (mesmo número de entradas e saídas), este opera com tensões na gama de 0 a 5 Volt ao passo que o Due opera entre 0 e 3,3 Volt, o que envolveria um ajuste de tensões quer de entrada quer de saída.

### 2.8.2 Raspberry Pi e BeagleBone Black

O Raspberry Pi e o BeagleBone Black presentes na figura 2.10 são um computador de placa única de baixo custo capazes de desempenhar todas as funções de um computador (*desktop*), tais como navegar na internet, editar texto, etc. Dispõem de pinos de entrada e saída (mais conhecidos por GPIO's) capazes de atuarem motores ou até mesmo ler sensores sendo que ambas correm distribuições de Linux, o que facilita o desenvolvimento de *software*.



(a) BeagleBone Black



(b) Raspberry Pi Model B+ [25]

Figura 2.10: Computadores de placa única

A tabela 2.1 mostra algumas das características mais importantes destas placas, bem como quais os protocolos de comunicação que estas implementam, já que estes são essenciais para a comunicação com os sensores.

Tabela 2.1: Comparação entre a Raspberry Pi e a BeagleBone Black [26, 25]

|                                   | <b>Raspberry Pi (Modelo B+)</b>                                     | <b>BeagleBone Black</b>   |
|-----------------------------------|---|---|
| <b>CPU</b>                        | 700 MHz - ARM11   | 1GHz - ARM Cortex-A8  |
| <b>Sistema Operativo</b>          | Debian, Fedora, Linux   | Debian, Android, QNX  |
| <b>Memória</b>                    | 512MB SDRAM   | 512MB DDR3  |
| <b>Periféricos de baixo nível</b> | 40 x GPIO<br>UART<br>$I^2C$<br>SPI<br>PWM<br>Pinos com 5V, 3.3V, 0V | CAN<br>7 x ADC (12 bit)<br>66 x GPIO<br>4 x UART<br>$I^2C$<br>SPI<br>8 x PWM<br>4 x Timer |
| <b>USB</b>                        | 4 x USB 2.0   | 1 x USB 2.0 Client<br>1 x USB host  |
| <b>Ethernet</b>                   | 10/100 Ethernet (RJ45)  | 10/100 Ethernet (RJ45)  |

Uma das grandes vantagens da BBB e da Raspberry Pi é que ambas podem executar o seu sistema operativo dentro de um cartão de memória SD, o que permite uma maior mobilidade e consequentemente maior versatilidade em caso de avaria das mesmas.

### 2.8.3 Infineon XMC

O XMC é uma família de microcontroladores da Infineon que usam processadores ARM Cortex-M4F ou Cortex-M0. Este tipo de microcontroladores são bastante usados em aplicações industriais, pois permitem a compatibilidade de código gerado entre microcontroladores da mesma família e sobretudo permitem fazer um controlo do consumo de energia, tornando assim os sistemas mais eficientes [27].

Dentro desta família de microcontroladores temos o XMC4500 que é muito utilizado em aplicações que envolvam controlo de motores, controlo de sistemas, HMI, etc, sendo a família XMC4000 também muito usada em aplicações que possuam restrições de tempo real. Tal como os Arduínos, estes microcontroladores possuem um preço reduzido, sendo que o preço aumenta conforme o número de funcionalidades que este suporta.

Dadas as características destas placas de prototipagem eletrotécnica e em comparação com as placas apresentadas nas secções 2.8.1 e 2.8.2, pode-se afirmar que estas são um compromisso entre os Arduínos e por exemplo a BeagleBone Black, isto é, têm uma capacidade de processamento idêntica à BeagleBone (não usam qualquer sistema operativo) e possuem maior quantidade e diversidade de entrada e saídas do que os Arduínos.

Outro aspeto que esta família tem a seu favor é o facto de existir um módulo de *debug* que permite a fácil deteção de erros.

## 2.9 Filtro de Kalman

O filtro de Kalman é um algoritmo matemático que permite estimar os estados de um processo a partir de observações perturbadas por ruído [28]. Este filtro também tem a particularidade de minimizar o erro quadrático médio dos parâmetros a serem estimados, caso o ruído se aproxime de uma distribuição Gaussiana.

Usados maioritariamente em sistemas lineares, o filtro de Kalman gera uma solução recursiva que permite estimar variáveis de estado.

O filtro de Kalman é caracterizado por executar continuamente dois estados distintos, primeiramente o estado de “predição” e depois o de “correção” como representados na figura 2.11.

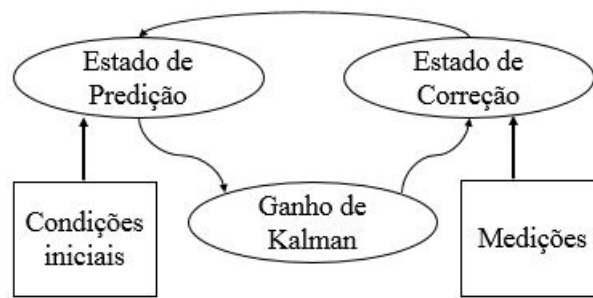


Figura 2.11: Diagrama de blocos associado ao filtro de Kalman linear (adaptado de [29])

O primeiro passo para construir um filtro de Kalman é criar um modelo baseado nas equações de estado. Estas são descritas por:

$$x(k+1) = Ax(k) + Bu(k) + w(k) \quad (2.1)$$

$$z(k) = Cx(k) + v(k) \quad (2.2)$$

na qual:

- $x(k) \in \mathbb{R}^n$  - vetor dos estado do sistema;
- $u(k) \in \mathbb{R}^m$  - vetor com as entradas do sistema;
- $w(k) \in \mathbb{R}^n$  - ruído do processo;
- $v(k) \in \mathbb{R}^p$  - ruído das medidas;
- $z(k) \in \mathbb{R}^p$  - vetor das saídas do sistema que contém as medidas dos sensores;
- $A \in \mathbb{R}^{n \times n}$  - matriz da dinâmica do sistema;
- $B \in \mathbb{R}^{n \times m}$  - matriz das entradas que influenciam a dinâmica do sistema;
- $C \in \mathbb{R}^{p \times n}$  - matriz que mapeia as equações de estado nas saídas;

sendo que  $\mathbf{n}$  corresponde ao número de estados do sistema,  $\mathbf{m}$  o número de entradas e por fim  $\mathbf{p}$  que representa a quantidade de estados medidos [30].

Antes do começo da predição, devem ser estabelecidas as condições iniciais, pois caso contrário o filtro não funciona com o esperado. A inicialização da matriz da covariância do erro deve ser escolhida de acordo com a confiança que se possui nos dados. Caso a certeza seja grande, esta deve possuir valores pequenos, mas se o cenário contrário acontecer a matriz deve ser inicializada com valores elevados, para que o filtro se consiga ajustar rapidamente.

Os pesos que se dá dão às matrizes “R” e “Q” mencionadas nas secções seguintes, dependem da fiabilidade dos sensores ou do modelo previamente desenvolvido.

Para sistemas não lineares, é usado o filtro de Kalman estendido que é uma adaptação do filtro de Kalman linear.

### 2.9.1 Estado de Predição

$$\hat{x}(k+1|k) = A\hat{x}(k|k) + Bu(k) \quad (2.3)$$

$$\hat{P}(k+1|k) = A\hat{P}(k|k)A^T + Q \quad (2.4)$$

em que:

- $\hat{x}(k+1|k)$  - Representa a estimativa do estado (estimativa *à priori*);
- $\hat{P}(k+1|k)$  - Representa a covariância do erro do estado (estimativa *à priori*);
- $Q$  - Representa a covariância do ruído de estado;

Em suma, estas equações permitem prever o estado atual baseando-se no estado anterior, sem que seja necessária a inclusão da informação proveniente da observação atual [30].

### 2.9.2 Estado de Correção

Uma vez efetuada a predição, deve-se agora calcular o ganho ótimo de Kalman que é descrito pela equação 2.5.

$$K_f(k+1) = \hat{P}(k+1|k)C^T [C\hat{P}(k+1|k)C^T + R]^{-1} \quad (2.5)$$

$$\hat{x}(k+1|k+1) = \hat{x}(k+1|k) + K_f(k+1) [z(k+1) - C\hat{x}(k+1|k)] \quad (2.6)$$

$$\hat{P}(k+1|k+1) = [I - K_f(k+1)C] \hat{P}(k+1|k) \quad (2.7)$$

onde:

- $\hat{x}(k+1|k+1)$  - Representa a atualização do estado (estimativa *à posteriori*);
- $\hat{P}(k+1|k+1)$  - Representa a covariância do erro estimada (estimativa *à posteriori*);
- $K_f(k+1)$  - Ganho do filtro de Kalman;
- $R$  - Representa a covariância do ruído da medidas;
- $I$  - Representa a matriz identidade;

Resumindo, a junção da fase de predição com a observação do estado permite afinar a estimada de estado, resultando numa estimativa *à posteriori* [30].

## Capítulo 3

# Hardware

Este capítulo contempla o *hardware* utilizado ao longo da dissertação. O capítulo está dividido em seis secções sendo que na primeira apresenta-se uma nova arquitetura de sistema para a monitorização das máquinas de extração de cerveja.

Na segunda secção é apresentado o modo como são medidas as temperaturas, bem como todas as aplicações e circuitos desenvolvidos para a aquisição das mesmas. Posteriormente são abordadas as necessidades de inclusão de um RTC (*Real Time Clock*) no sistema a desenvolver, e seguidamente o circuito de proteção dos I/Os da BeagleBone Black.

Os processos de medição da massa real de gelo são dadas a conhecer na quinta secção e, por último, são apresentadas as conclusões parciais.

### 3.1 Arquitetura do sistema

Para cumprir com os objetivos propostos inicialmente, foi necessário modificar a arquitetura base das máquina de extração. Esta foi dividida em dois níveis, sendo eles o nível de gestão e o nível de controlo.

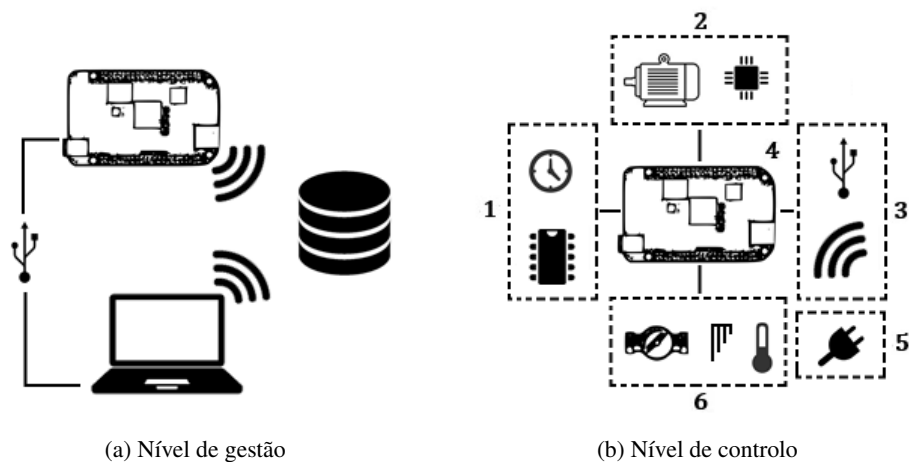


Figura 3.1: Arquitetura proposta para as máquina de extração de bebidas

### 3.1.1 Nível de gestão

O nível de gestão presente na figura 3.1a foi construído com o intuito de um utilizador poder consultar o estado atual ou passado de uma dada máquina. Na presença de *Internet*, a BBB periodicamente insere dados relativos ao seu estado numa base de dados, que posteriormente podem ser trabalhados e consequentemente mostrados ao utilizador.

Caso não exista esta ligação à *Internet*, estes mesmos dados são armazenados num cartão SD, para que, mais tarde, possam ser descarregados para um computador através de uma ligação cablada.

### 3.1.2 Nível de controlo

Este nível encontra-se dividido em seis sub-módulos como se observa na figura 3.1b. O primeiro módulo refere-se ao RTC e ao conversor ADC (*Analog-to-Digital Converter*). O ADC foi introduzido devido ao facto dos ADC's da BBB apenas operarem na faixa de 0V a 1,8V. Isto implicaria que todas as tensões a serem medidas teriam de ser ajustadas de um máximo de 5V para 1,8V, fazendo assim com que a totalidade da escala de medida não fosse usada. Para além disso, evita-se assim o uso de divisores resistivos.

O módulo número 2 faz referência ao controlo e monitorização dos motores da máquina. Ao controlo dos motores, já anteriormente desenvolvido na FEUP em trabalhos sobre este tema, [7], foi adicionada uma monitorização individual para cada motor, de modo a poderem ser prevenidas eventuais falhas, como por exemplo o bloqueio do eixo do agitador por acumulação de gelo. Também foi necessário adaptar este controlo para poder ser operado pela BBB, uma vez que este estava preparado para trabalhar com o Arduino.

O terceiro módulo contempla as comunicação USB (*Universal Serial Bus*), ligações sem fios (*WiFi*) e ainda uma ligação *Ethernet*. É com base nestas comunicações que o controlador do módulo quatro interage com um computador ou com o exterior, por forma a tornar a assistência técnica mais eficaz ou até mesmo permitir que o gerente do ponto de venda possa modificar parâmetros previamente definidos, tais como os consumos de cerveja previstos.

Quanto ao controlador, trata-se de uma BeagleBone Black, pois fornece o número de entradas e saídas suficientes para atuar no sistema. Outra razão que motivou a escolha foi o facto de esta já possuir módulos de leitura de cartões micro SD, bem como uma ligação à rede sem fios que necessita apenas de uma antena *WiFi*.

O quinto módulo refere-se à fonte de alimentação que fornece energia para alimentar todos os circuitos eletrónicos. Esta alimentação permite transformar os 230V da rede elétrica em 5V contínuos aliados a uma corrente de 2A.

O último módulo diz respeito à parte sensorial da máquina. Este envolve sensores de fluxo, sondas de gelo e sensores de temperatura.

Pretende-se pois que, com estes seis módulos aumentar a eficiência da máquina e consequentemente melhorar o acompanhamento por parte das equipas de manutenção, pois tornar-se-á mais fácil identificar as falhas.

## 3.2 Aquisição de temperaturas

A temperatura é um dos elementos chave para se conseguir estimar a espessura de gelo dentro do depósito de água e para tal, é fundamental que esta esteja continuamente a ser medida.

Os sensores instalados tem de ser resistentes, já que o ambiente interno da máquina possui muita humidade e por vezes o ambiente externo é hostil. Estes sensores designam-se DS18B20 *waterproof* que para além de serem resistentes à água implementam o protocolo de comunicação *1Wire*. Outro aspeto que contribuiu para a escolha, foi o facto de estes já possuírem o seu próprio circuito de condicionamento de sinal, sendo por isso a sua saída um sinal digital.

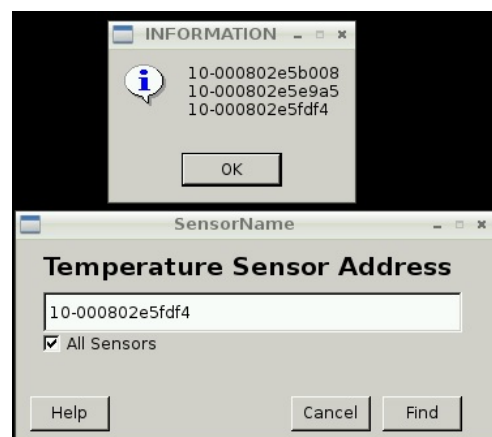
A comunicação destes sensores com o microcontrolador é feita através de um barramento *1Wire* que, como o próprio nome sugere, apenas requer uma linha de transmissão de dados. Estes tem uma resolução de 9 a 12 bits, sendo que o aumento do número de bits proporciona um aumento do tempo de conversão. Neste caso, a resolução de 12 bits (vinda por defeito) não foi alterada porque, como se trata de um processo lento (formação de gelo) o tempo de conversão não influencia o resultado final do modelo utilizado [31, 32].

Este protocolo, vai de encontro com a filosofia de mestre/escravo, pois os sensores (escravos) apenas respondem se existir um pedido por parte de um mestre (neste caso a BBB). A identificação de cada sensor é feita por intermédio do mestre que procura e identifica todos os dispositivos ligados no barramento, sendo que cada sensor possui um endereço único devido ao facto de existirem 64 bits de configuração impostos aquando do fabrico.

Para obter o endereço de cada sensor, foi desenvolvida uma interface para a BBB, em C++, que permite de uma forma simples identificar o endereço do sensor em questão ou então mostrar uma lista de todos os endereços dos sensores que estão ligados ao barramento, como é visível na figura 3.2.



(a) Endereço de um novo sensor no barramento *1Wire*



(b) Todos os endereços dos sensores conectados ao barramento *1Wire*

Figura 3.2: Interface desenvolvida em C++ para identificar o endereço dos sensores de temperatura

Quanto à alimentação/transmissão de dados dos DS18B20 optou-se por usar o circuito elétrico ilustrado na figura 3.3, sendo que a alimentação “VDD” provem de uma fonte de alimentação externa de 5V contínuos.

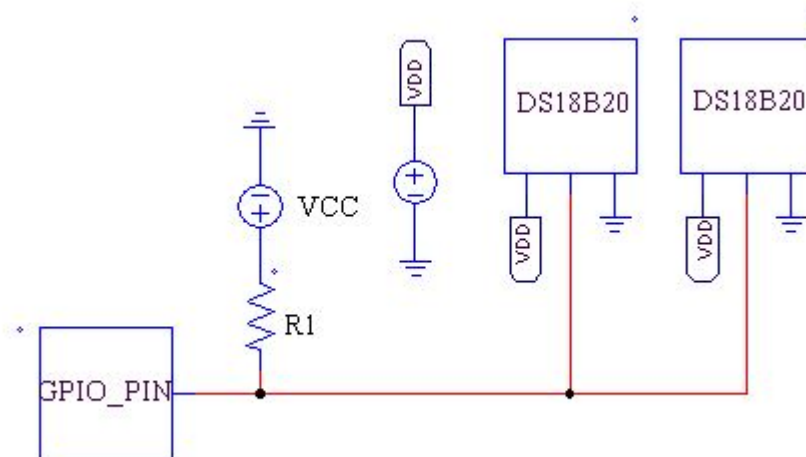


Figura 3.3: Circuito de alimentação dos sensores DS18B20 [31]

### 3.3 Relógio de tempo real

Uma vez que é necessário fazer um histórico dos dados recolhidos pelo sensores da máquina, surge a necessidade de instalar um relógio na mesma para que se possa determinar a hora exata de determinada ocorrência. A utilização da BBB permitiu que este problema fosse parcialmente resolvido, pois esta já integra um RTC na sua arquitetura base.

Existem dois problemas associados a este RTC interno. O primeiro é que este só se sincroniza quando existir uma ligação à *Internet* e o outro é que, quando a BBB perde a alimentação, o RTC perde também a referência temporal.

Para contornar este problema foi instalado um RTC externo (“ChronoDot RTC”) que permite que a BBB seja desligada sem que a hora seja perdida. Este RTC comunica com a BBB através do protocolo de comunicação  $I^2C$  que permite que, no arranque da BBB a hora presente na memória do RTC seja “carregada” para o RTC interno da BBB.

A sincronização deste RTC pode ser feita de forma manual, isto é o utilizador insere a hora e data atual, ou então quando existe ligação à *Internet* este atualiza a hora de forma automática através de servidores NTP (*Network Time Protocol*).

Este RTC também dispõem de funcionalidades extra que podem ser programadas por forma a tirar o melhor rendimento deste. Uma delas remete para interrupções por parte do RTC para, por exemplo, gerar um sinal de alarme.

É alimentado por uma fonte de alimentação externa de 5 V com o objetivo de estender a vida útil da sua bateria. O erro máximo que este pode adquirir é de aproximadamente 1 minuto por ano [33].



### 3.4 Proteção de pinos BeagleBone

Como já referido na subsecção 2.8.2, a BBB é um computador de placa única que requer alguns cuidados, sobretudo quando se está a alimentar sensores com recurso a uma fonte externa. Quando a BBB não está a ser alimentada, deve ter-se o cuidado de não aplicar tensão em qualquer pino, pois existe a probabilidade de danificar o seu processador [34].

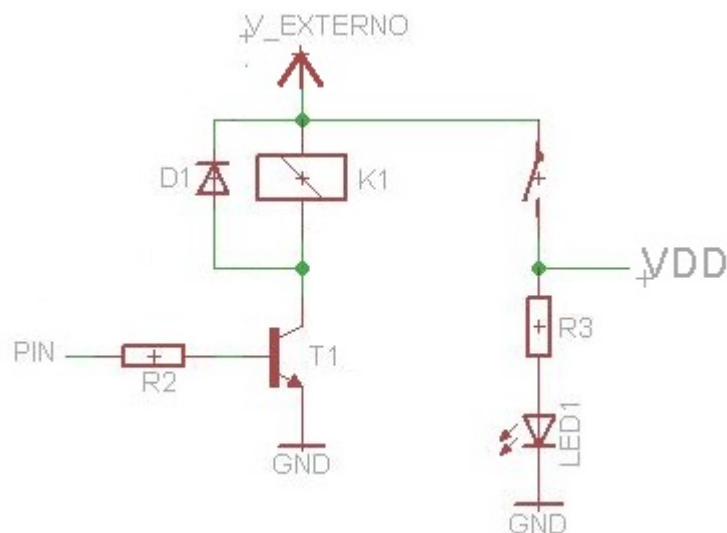


Figura 3.4: Circuito de proteção dos pinos da BBB

Para evitar este dano, foi desenvolvido o circuito da figura 3.4 que é composto por um transistor do tipo NPN, um diodo, que funciona como “roda livre”, um relé que permite a comutação para a fonte externa, e um LED (*Light Emitting Diode*) para sinalização.

Quando o programa principal for colocado em marcha, um pino da BBB dá ordem ao transistor para ele conduzir fazendo assim com que o relé atraque e consequentemente a alimentação esteja disponível para todo o circuito externo.

### 3.5 Medição da espessura de gelo

A medição das temperaturas envolvidas na máquina deverão permitir validar o modelo matemático associado à estimação da massa de gelo presente no depósito, sendo que esta estimação deve ser confrontada com a massa real.

A medida direta da massa real seria possível com o uso de uma célula de carga, e circuito de condicionamento associado. No entanto o custo associado a esta solução tornaria inviável a sua implementação nos milhares de máquinas já existentes. De facto, nesta dissertação pretende-se obter a melhor estimativa da massa de gelo com o menor custo possível.

Assim, surgiu a ideia de usar sondas metálicas, com dois eléctrodos, para medir a variação da resistência eléctrica entre ambos à medida que o gelo vai crescendo no seu intervalo.

Deste modo prolongaram-se os eléktrodo já existentes nas sondas de gelo atuais das máquinas que funcionam como um interruptor. A figura 3.5a ilustra o exposto. A figura 3.5b apresenta um modelo antigo destas mesmas sondas de gelo, mas desta feita com dois eléktrodo em aço inoxidável. A diferença entre estes dois pares de sondas está no modo como são fixas na serpentina do evaporador. O primeiro par é fixo no topo da serpentina do evaporador com um ângulo de cerca de  $30^\circ$ , sendo que o segundo par é introduzido na vertical nesta mesma serpentina a uma distância de aproximadamente metade da altura do evaporador.



(a) Protótipo de sondas metálicas com os eléktrodo prolongados



(b) Protótipo de sondas metálicas com os eléktrodo retilíneos e paralelos

Figura 3.5: Protótipo de sondas metálicas baseadas na medição de resistência elétrica entre dois eléktrodo

Esta segunda hipótese também acabou por ser descartada, pois os resultados obtidos não eram satisfatórios, sendo que estes serão abordados com mais detalhe no capítulo 6 desta dissertação.

Dados estes resultados insatisfatórios, a estratégia de medição da massa de gelo teve de ser modificada. Utilizou-se assim uma medição discreta da espessura de gelo em vez de uma medição contínua.

Para tal efeito, foi desenvolvido o protótipo de sondas presentes na figura 3.6. Este é composto por cinco varetas de aço inox de diferentes tamanhos, espaçados de igual forma entre si, sendo a maior comum às restantes.

Esta sonda é mergulhada na água e é instalada num dos lados da serpentina do evaporador. À medida que o gelo vai crescendo (ainda que de forma assimétrica), estas pequenas varetas vão ficar totalmente cobertos de gelo. Para distinguir se as varetas estão totalmente cobertas de gelo ou ainda em contacto com a água, foi desenvolvido o circuito ilustrado na figura 3.7 que gera um sinal digital de acordo com estes dois casos.

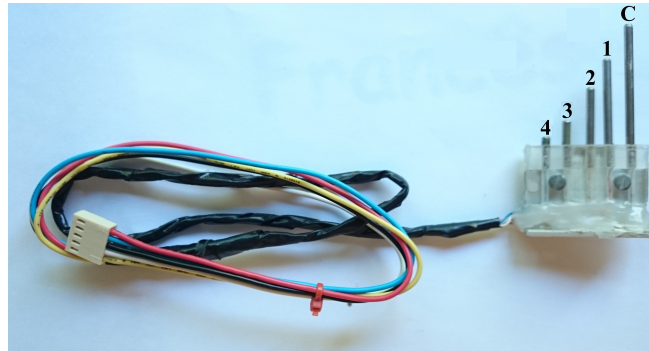


Figura 3.6: Protótipo de sondas metálicas discretas

Uma vez coberta de gelo, a corrente não circula entre, por exemplo, a vareta 1 e a vareta C, o que faz com que o circuito da figura 3.7 informe o controlador que essa ligação se encontra isolada.

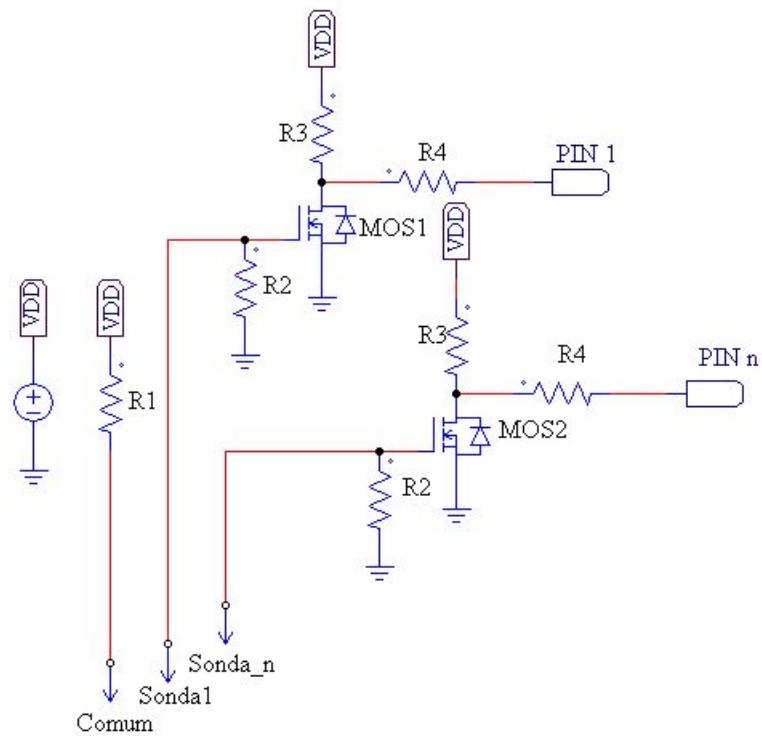


Figura 3.7: Circuito de aquisição para a sonda discreta

Com base nos comprimentos das varetas apresentadas na tabela 3.1 foi possível aproximar a massa de gelo contida no depósito através da combinação das equações 3.1 e 3.2.

$$\rho = \frac{massa}{Vol} \quad (3.1)$$

$$e = \frac{Vol}{S_{gelo}} \quad (3.2)$$

Conhecida a espessura “e”, através da sonda metálica discreta, calcula-se com 3.2 o volume e a partir de 3.1 a massa.  $\rho$  representa a massa específica do gelo a 0°, cujo valor teórico é  $916,2 \frac{kg}{m^3}$  [35]. Note-se que a secção de gelo,  $S_{gelo}$  é calculada com a equação 3.3.

$$S_{gelo} = 2 * \pi * r * h \quad (3.3)$$

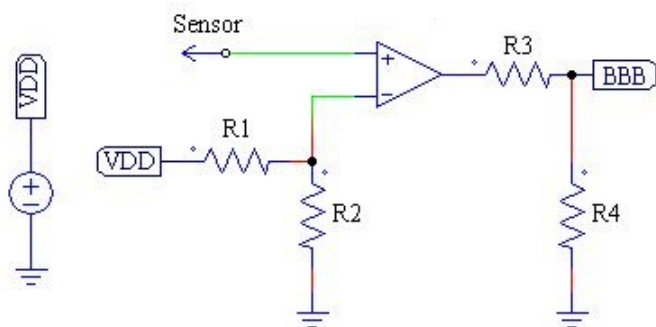
sendo que “r” representa o raio da serpentina do evaporador e “h” a altura do mesmo. No caso da máquina em estudo, o raio e a altura equivalem a 0,2 m e 0,27 m, respetivamente.

A tabela 3.1 apresenta a massa de gelo de acordo com o comprimento de cada uma das varetas do módulo desenvolvido.

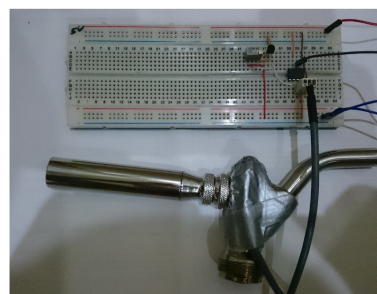
Tabela 3.1: Comprimento e massa de gelo associada às varetas da sonda discreta

| Vareta | Comprimento (m) | Massa calculada (kg) |
|--------|-----------------|----------------------|
| C      | 0,045           | -                    |
| 1      | 0,035           | 21,76                |
| 2      | 0,025           | 15,54                |
| 3      | 0,015           | 9,33                 |
| 4      | 0,01            | 6,21                 |

### 3.6 Detecção da abertura da torneira



(a) Circuito de deteção de abertura de torneira



(b) Circuito de deteção de abertura de torneira montado em *breadboard*

Figura 3.8: Detecção de abertura da torneira

Dado que se optou, mais uma vez, por questões económicas, pela não utilização de um sensor de caudal, o volume de líquido extraído é estimado através do tempo de abertura da torneira. Assim, foi instalado no topo da torneira um sensor de efeito de *Hall* (sensor que gera uma tensão na presença de um campo magnético) e um íman no pistão de passagem de bebida.

Uma vez que o sensor possui uma saída analógica e apenas se está interessado em saber se a torneira está aberta ou não, desenvolveu-se um circuito comparador de modo a que o sinal enviado

para a BBB fosse um sinal digital. Tal está ilustrado no esquema de princípio presente à esquerda na figura 3.8. Na parte direita da mesma figura, podemos ver o mesmo montado numa *breadboard*. Este produz uma saída de valor igual a 3,3V sempre que a tensão de saída do sensor exceder a tensão de referência do comparador, que, neste caso, é de aproximadamente 1V. Caso contrário, a tensão de saída para o pino da BBB vale 0V.

### 3.7 Conclusões

Ao longo deste capítulo foram apresentados os principais elementos de *hardware* necessários para cumprir os objetivos propostos com a condicionante de não tornar demasiado oneroso o sistema a implementar.

Importa salientar que a aquisição das temperaturas e da espessura de gelo são requisitos para o correto funcionamento do modelo a desenvolver. A medição da espessura de gelo tem como objetivo corrigir discretamente o mesmo evitando assim grandes desvios no calculo da massa.

As sondas usadas foram as discretas, pois estas demonstraram ter melhor desempenho face às sondas metálicas baseadas na medição de resistência entre dois elétrodos. Eventualmente, se for necessário obter mais pontos de contacto de gelo basta aumentar o número de varetas.

A abertura da torneira, para calculo de volume de líquido extraído, é detetada com um sensor de efeito de *Hall* que gera uma tensão elétrica de acordo como o deslocamento do pistão. Em comparação com os interruptores de *Reed*, os sensores de efeito de *Hall* para além de possuírem tamanhos reduzidos não possuem desgaste mecânico, tendo nos testes comparativos realizados demonstrado ser uma melhor solução.



## Capítulo 4

# Modelo matemático de uma máquina de extração de bebidas *standard*

Neste capítulo é apresentado o estudo e simulação de uma máquina de extração de bebidas à pressão. Para efetuar as simulações recorreu-se ao *software* MATLAB R2013b. A aquisição de dados, para validação do modelo, foi realizada com o sistema projetado, nomeadamente os sensores de temperatura, as sondas metálicas discretas e sensor de efeito de *Hall*, em conjunto com a BBB e o respetivo software em linguagem C++.

A primeira secção menciona todos os ganhos energéticos presentes na máquina, ao passo que a segunda refere-se ao estudo e modelização da secção responsável por gerar frio.

Também são mencionadas as entradas e saídas relevantes para desenvolver o modelo da máquina, bem como as equações fundamentais para determinar a massa de gelo e temperatura da água do depósito.

### 4.1 Ganhos energéticos

Uma máquina de extração de bebidas pode ser equiparada a um frigorífico convencional. A diferença prende-se com o facto de que esta tem de congelar uma determinada quantidade de água. Em termos eletrotécnicos, o gelo formado pode ser comparado a um condensador elétrico, pois ambos têm o objetivo de armazenar energia, que no caso do gelo é energia calorífica.

É de fácil compreensão que quanto maior for o condensador, maior será a energia armazenada e melhor será a resposta a situações anómalas, sendo que no caso das máquinas de extração, este condensador está limitado a uma dada massa de gelo consoante o modelo da máquina.

Outro fator que influencia a quantidade máxima de gelo a formar, deve-se ao facto de não se poder deixar congelar a bebida dentro da serpentina de refrigeração da bebida.

Por forma a desenvolver um modelo capaz de correr em tempo real, na BBB, começou-se por analisar quais as potências caloríficas envolvidas, bem como os ganhos caloríficos que a máquina tem de vencer quer pelo exterior, quer pelos componentes essenciais ao seu funcionamento. Assim, apresentam-se de seguida os principais ganhos energéticos em jogo.

#### 4.1.1 Ganhos energéticos nas Faces laterais

Como vimos na figura 2.2 a cuba de formação de gelo é paralelepípedica. Assim, a máquina de extração em estudo possui cinco faces isoladas: a base e as quatro paredes laterais. A figura 4.1 ilustra o corte longitudinal de uma parede lateral da máquina e respectivas resistências térmicas. Parte-se do pressuposto que o calor ganho e perdido é aproximadamente igual nas quatro paredes.

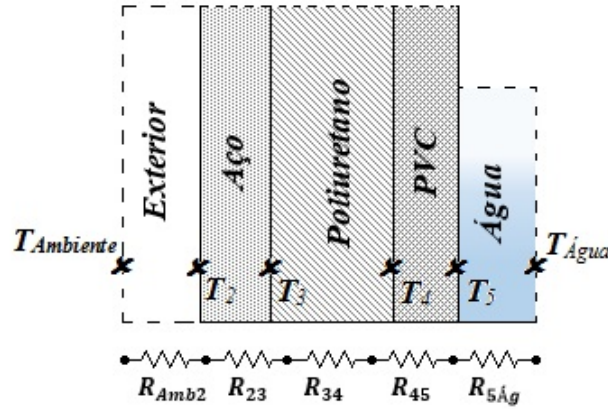


Figura 4.1: Corte longitudinal de uma das paredes laterais da máquina na qual se identificam as resistências térmicas

Com esta simplificação, basta efetuar o cálculo para apenas uma das paredes. A potência calorífica é assim calculada através da associação em série das resistências, tal como se pode ver na equação 4.1.

$$\dot{Q}_{paredes} = \frac{T_{Ambiente} - T_{Água}}{R_{equi\_térmica\_paredes}} * 4 \quad (4.1)$$

sendo a  $R_{equi\_térmica\_paredes}$  dada pela soma das diferentes resistências térmicas [36].

Por análise da figura 4.1 chega-se à conclusão que as resistências  $R_{Amb2}$  e  $R_{5Ág}$  são resistências térmicas associadas a convecção, ao passo que as restantes são resistências térmicas associadas a condução de calor. Assim vem:

$$R_{Amb2} = R_{5Ág} = \frac{1}{h_{material} * S_{material}} \quad (4.2)$$

onde  $h_{material}$  corresponde ao coeficiente de convecção térmica do material e  $S_{material}$  à área do mesmo.

$$R_{23} = R_{34} = R_{45} = \frac{e_{material}}{\lambda_{material} * S_{material}} \quad (4.3)$$

sabendo que  $e_{material}$  faz referência à espessura do material e  $\lambda_{material}$  à condutibilidade térmica do mesmo.

Para proceder ao cálculo das equações 4.2 e 4.3 foi necessário medir a estrutura lateral da máquina. Estas medidas podem ser consultas na tabela 4.2, bem como todos os resultados associados às diversas resistências. As constantes térmicas dos materiais podem ser consultadas na tabela 4.1.



Tabela 4.1: Constantes térmicas

| Material ou Substância      | Condutividade térmica | Convecção térmica   |
|-----------------------------|-----------------------|---------------------|
| Ar Exterior                 | -                     | 2,66 <sup>1</sup>   |
| Ar Interior                 | 0,024 <sup>2</sup>    | -                   |
| Aço (AISI 304) <sup>3</sup> | 14,9 <sup>4</sup>     | -                   |
| Poliuretano                 | 0,025 <sup>1</sup>    | -                   |
| PVC                         | 0,19 <sup>5</sup>     | -                   |
| Água                        | -                     | 102,79 <sup>1</sup> |

<sup>1</sup>valor retirado de [37]<sup>2</sup>valor retirado de [4]<sup>3</sup>designação do aço retirada de [10]<sup>4</sup>valor retirado de [38]<sup>5</sup>valor retirado de [39]

Tabela 4.2: Dimensões das faces da máquina

| Material ou Substância | Largura (m) | Altura (m) | Área (m <sup>2</sup> ) | Espessura (m) | Resistência (°C/w) |
|------------------------|-------------|------------|------------------------|---------------|--------------------|
| $R_{Amb2}$             | 0,460       | 0,440      | 0,202                  | -             | 1,857              |
| $R_{23}$               |             |            |                        | 0,001         | 3,316E-04          |
| $R_{34}$               | 0,355       | 0,380      | 0,135                  | 0,025         | 7,413              |
| $R_{45}$               |             |            |                        | 0,005         | 0,195              |
| $R_{5Ág}$              |             |            |                        | -             | 0,072              |

#### 4.1.2 Ganhos energético na tampa do topo

Tal como para as faces laterais, foi necessário analisar o topo da máquina. De todas as faces, está é a que não apresenta qualquer tipo de isolamento. A figura 4.2 ilustra o modelo de resistências térmicas para este caso.

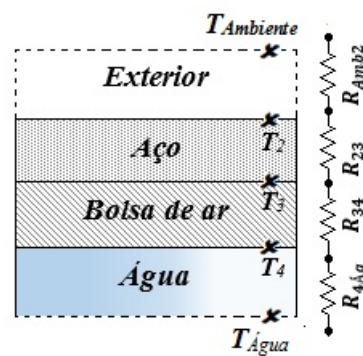


Figura 4.2: Corte longitudinal da tampa do topo da máquina na qual se identificam as resistências térmicas

Uma vez mais, a potência calorífica cedida pelo topo é regida pela equação 4.4,

$$\dot{Q}_{topo} = \frac{T_{Ambiente} - T_{Água}}{R_{equi\_térmica\_topo}} \quad (4.4)$$

sendo necessário medir o topo da máquina para se poder proceder ao cálculo da  $R_{equi\_térmica\_topo}$ .

Com base nas constantes térmicas descritas na tabela 4.1 e nas medidas retiradas foi possível chegar aos resultados da tabela 4.3, sendo que as resistências  $R_{Amb2}$  e  $R_{4Ág}$  são calculadas com recurso à equação 4.2 e as restantes através da equação 4.3.

Tabela 4.3: Dimensões do topo da máquina

| Material ou Substância | Largura (m) | Altura (m) | Área (m <sup>2</sup> ) | Espessura (m) | Resistência (°C/w) |
|------------------------|-------------|------------|------------------------|---------------|--------------------|
| $R_{Amb2}$             | 0,440       | 0,440      | 0,194                  | -             | 1,942              |
| $R_{23}$               |             |            |                        | 0,001         | 3,467E-04          |
| $R_{34}$               |             |            |                        | 0,107         | 23,03              |
| $R_{4Ág}$              |             |            |                        | -             | 0,050              |

### 4.1.3 Ganhos energético da base

De todas as potências caloríficas, a potência proveniente da base é a mais crítica, pois é por baixo desta que se encontram duas das grandes fontes de calor, o compressor e condensador.

A figura 4.3 ilustra o modelo de resistências térmicas da base. Do mesmo, podemos concluir que a disposição das resistências térmicas da base são equivalentes às das paredes.

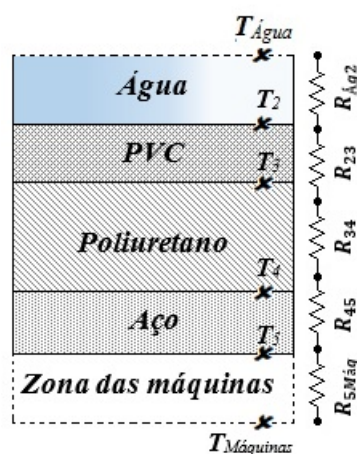


Figura 4.3: Corte longitudinal na base da máquina na qual se identificam as resistências térmicas

Para o modelo desenvolvido na simulação, a temperatura por baixo da base, referida na figura como “zona das máquinas” é calculada recorrendo à temperatura ambiente aliada às temperaturas criadas por cada elemento da base. As temperaturas produzidas pelo compressor, ventilador e condensador foram inicialmente obtidas experimentalmente, consoante o ciclo de funcionamento

base da máquina, e são usadas no algoritmo seguinte, que calcula a temperatura na designada “zona das máquinas”. Note-se que como o compressor e o condensador estão no mesmo estado de ligado ou desligado, no algoritmo apenas entra o conjunto da temperatura de ambos designado por “ $T_{extraCompressor}$ ”.

---

**Algoritmo 1** Definição da temperatura na zona das máquinas
 

---

```

se  $compressor == "Ligado"$  então:
     $T_{Máquinas} = T_{Ambiente} + T_{extraCompressor} + T_{extraVentilador}$ ;
senão se  $ventilador == "Ligado"$  então:
     $T_{Máquinas} = T_{Ambiente} + T_{extraVentilador}$ ;
senão
     $T_{Máquinas} = T_{Ambiente}$ ;
fim se
  
```

---

As temperaturas  $T_{extraCompressor}$  e  $T_{extraVentilador}$  presentes no algoritmo 1 assumiram os valores 20°C e 8°C respetivamente.

Uma vez definida a temperatura das máquina, o calculo de  $\dot{Q}_{base}$  é descrito pela equação 4.4, sendo substituída a  $T_{Ambiente}$  por  $T_{Máquinas}$  e  $R_{equi\_térmica\_topo}$  por  $R_{equi\_térmica\_base}$ .

Tabela 4.4: Dimensões da base da máquina

| Material ou Substância | Largura (m) | Altura (m) | Área (m <sup>2</sup> ) | Espessura (m) | Resistência (°C/w) |
|------------------------|-------------|------------|------------------------|---------------|--------------------|
| $R_{Ag2}$              | 0,380       | 0,380      | 0,144                  | -             | 1,942              |
| $R_{23}$               |             |            |                        | 0,005         | 0,182              |
| $R_{34}$               |             |            |                        | 0,025         | 6,925              |
| $R_{45}$               | 0,440       | 0,440      | 0,194                  | 0.001         | 3,467E-04          |
| $R_{5MÁq}$             | 0,380       | 0,380      | 0,144                  | -             | 2,604              |

As medidas da base da máquina em estudo podem ser consultada com recurso à tabela 4.4, bem como as resistências térmicas calculadas.

Tal como nos ganhos pelas faces laterais, as resistências térmicas das extremidades são calculas recorrendo às equações de convecção<sup>1</sup> térmica, enquanto nas restantes são usadas equações de condução<sup>2</sup> térmica.

#### 4.1.4 Extração de bebida

Aquando de uma extração de bebida, vão existir trocas de calor entre a esta e a água do depósito, sendo por isso necessário calcular a potência calorífica despendida para arrefecer um dado volume de bebida.

Considerando um calor específico constante e sabendo que o caudal de cerveja varia ao longo do tempo, vem que:

$$\dot{Q}_{extracção} = \dot{m}_{cerveja} * c_{p_{cerveja}} * (T_{entrada} - T_{saída}) \quad (4.5)$$

---

<sup>1</sup>ver equação 4.2

<sup>2</sup>ver equação 4.3

$$\dot{m}_{cerveja} = \frac{\rho_{cerveja} * \dot{V}_{cerveja}}{1000 * 3600} \quad (4.6)$$

onde se assumiu que o calor específico da cerveja possui um valor de  $3768 \text{ J/kg}^\circ\text{C}$  [40, 36]. A temperatura de entrada do fluído, ou seja, da cerveja, foi considerada na simulação igual à temperatura ambiente, uma vez que o barril normalmente se encontra a esta mesma temperatura, salvo raras exceções em que a temperatura é menor que a do ambiente como referido na secção 2.5. Quanto à temperatura que se pretende ter na saída, esta varia com o tipo de cerveja a ser extraída, sendo que, na simulação, se considerou uma temperatura constante de  $7^\circ\text{C}$ .

Relativamente à equação 4.6, a literatura menciona que o valor de  $\rho_{cerveja}$  é de aproximadamente  $1050 \text{ kg/m}^3$ . Este valor pode variar, embora muito pouco, de cerveja para cerveja devido às suas propriedades físicas. O valor de  $\dot{V}_{cerveja}$  é variável conforme a capacidade máxima de extração das máquinas, que no caso em estudo é de  $100 \text{ L/hora}$ .

#### 4.1.5 Agitador

Tal como mencionado no capítulo 2, o agitador possui dupla funcionalidade permitindo a introdução de duas potências caloríficas distintas. A primeira refere-se ao eixo do agitador que resulta na transferência de calor entre a água do depósito e o seu interior. A equação 4.7 expressa essa mesma potência calorífica, assumindo que a condução no eixo é unidirecional (mais propriamente do interior do agitador para o depósito de água) e a transferência de calor é uniforme [36].

$$\dot{Q}_{eixo} = \sqrt{h * P * \lambda * S} * (T_{entrada} - T_{saída}) \quad (4.7)$$

considerando:

$$P = 2 * \pi * \text{raio} = \pi * \text{diâmetro} \quad (4.8)$$

$$S = \pi * \text{raio}^2 = \pi * \frac{\text{diâmetro}^2}{4} \quad (4.9)$$

Como vez que o eixo do agitador é um cilindro em aço (AISI 302) de diâmetro  $0,007 \text{ m}$ , a literatura menciona que a constante térmica  $\lambda$  equivale a  $15,1 \text{ W/m}^\circ\text{C}$  [38].

A temperatura de entrada descrita na equação 4.7 corresponde à temperatura da bolsa de ar (ver figura 4.2) que, é obtida com recurso a um sensor, e a uma combinação da temperatura exterior. Quanto a  $T_{saída}$  e à constante “h”, correspondem à temperatura da água do depósito e ao coeficiente de transferência térmica por convecção da água, respetivamente.

A segunda funcionalidade do agitador deve-se ao facto de este também bombear água do depósito para a coluna de extração. A equação que melhor descreve as transferências de calor associadas à bombagem é a 4.5 mas com a particularidade que o calor específico a utilizar é o da água, que equivale a  $4181 \text{ J/kg}^\circ\text{C}$  [41]. O caudal mássico bombeado estima-se que seja cerca de  $0,0789 \text{ kg/s}$  para o agitador em questão [7]. A quantificação da diferença de temperaturas revelou-se de alguma complexidade já que esta depende do dobro da distância percorrida pela água bombeada até à coluna. Neste caso foi assumido que a temperatura não varia em mais do que  $0,2^\circ\text{C}$ , dependendo, obviamente, da temperatura da água do depósito.

## 4.2 Capacidade frigorífica da máquina de extração

A equação que melhor descreve a capacidade de retirar calor de dentro do depósito de água é dada por:

$$\dot{Q}_{máquinaFrio} = 460 + 900 * \frac{T_{Água}}{T_{Ambiente} + 5} \quad (4.10)$$

Nesta equação matemática o termo constante, de valor 460 W, é determinado com base na folha de características do compressor presente na máquina. Chega-se à conclusão que este possui uma potência que é próxima dos 460 W quando o evaporador está a 0°C. Este valor é calculado com base no rendimento do compressor que é aproximadamente 60 a 70%, pelo que da potência elétrica consumida pelo motor, só 60 a 70 % se convertem em aumento de energia interna do fluido. Os restantes dissipam-se na forma de calor. Para tal foi assumido o pior caso que surge quando o compressor tem um rendimento de 60 % [10, 42].

Uma vez que é de extrema complexidade medir a temperatura do fluido frigorífico em pontos chave tais como, no tubo capilar, evaporador ou condensador, os valores das constantes 900 e 5 presentes na equação 4.10 foram obtidos com recurso a trabalho experimental.

## 4.3 Modelização

Com base nas equações descritas até então, é possível criar um modelo que estime a temperatura da água e a massa de gelo criada na máquina. Para uma melhor compreensão das variáveis de entrada e saída associadas ao sistema foi criado o diagrama de blocos presente na figura 4.4.

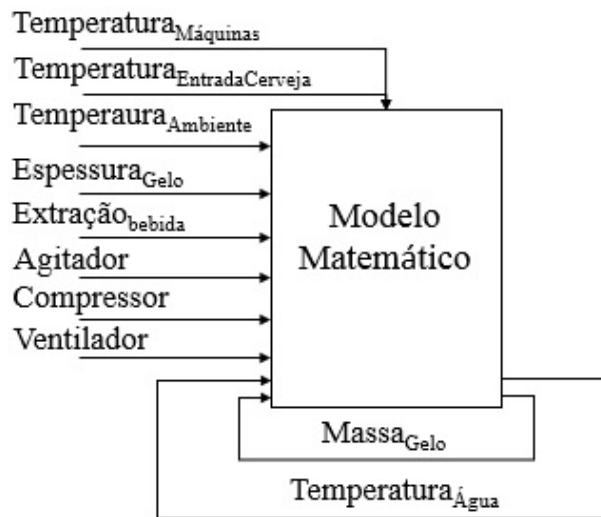


Figura 4.4: Diagrama de blocos do modelo

Uma vez definidos todos os ganhos energéticos, pode-se finalmente afirmar que:

$$\dot{Q}_{total} = \dot{Q}_{paredes} + \dot{Q}_{topo} + \dot{Q}_{base} + \dot{Q}_{extração} + \dot{Q}_{eixo} + \dot{Q}_{bomba} + \dot{Q}_{extra} \quad (4.11)$$

onde  $\dot{Q}_{extra}$  representa a potência inserida por fatores externos à máquina, (como por exemplo poeiras acumuladas) sendo este valor obtido de uma forma empírica.

Um dos fatores que se deve ter em consideração é o facto de o agitador estar ligado ou não, pois caso este esteja desligado o  $\dot{Q}_{bomba}$  é 0 W pela razão de este não estar a bombear a água. O mesmo cenário acontece quando não existe extração de bebida, ficando a equação 4.11 resumida à equação 4.12.

$$\dot{Q}_{total} = \dot{Q}_{paredes} + \dot{Q}_{topo} + \dot{Q}_{base} + \dot{Q}_{eixo} + \dot{Q}_{extra} \quad (4.12)$$

Agora que se possuem todos os cálculos intermédios, é possível fazer o balanço energético dentro do depósito de água.

Sabendo que:

$$\dot{Q}_{recebido} = \frac{\dot{Q}_{total} - \dot{Q}_{máquinaFrio}}{\Delta T} \quad (J/min) \quad (4.13)$$

em que “ $\Delta T$ ” corresponde ao período de amostragem do programa que neste caso é de 60 segundos. Com base na equação 4.13 vem que:

$$Massa_{gelo}(t) = Massa_{gelo}(t - \Delta T) - \frac{\dot{Q}_{recebido}(t)}{L_f} \quad (4.14)$$

$$Temperatura_{Água}(t) = Temperatura_{Água}(t - \Delta T) + \frac{\dot{Q}_{recebido}(t)}{c_{pÁgua} * massa_{Água}} \quad (4.15)$$

onde o calor latente de fusão da água “ $L_f$ ” equivale a 333000 J/kg [43], o calor específico da água a 4181 J/kg\*°C [41] e a massa da água à capacidade da máquina que neste caso é de 52 kg [10].

Apesar de existir um calculo permanente da massa de gelo, esta vai sofrendo ligeiras correções à medida que o bloco de gelo real vai cobrindo a sonda mencionadas na secção 3.5.

Para aplicar as equações 4.14 e 4.15 é necessário implementar algumas restrições, pois caso estas não existam estar-se-ia a violar as propriedades físicas da água bem como as leis térmicas. Essas restrições implicam que enquanto a temperatura da água estiver acima dos 0°C não existe a formação de gelo, bem como durante o processo de formação de gelo a temperatura da água mantém-se nos 0°C, assumindo que a formação de gelo começa quando a temperatura da água cruza os 0°C.

## 4.4 Conclusão

Ao longo deste capítulo foram definidas todas as equações que melhor aproximam o modelo a uma máquina de extração de bebidas real, onde se verifica que os casos que merecem maior preocupação são as potência provenientes da base e da extração, pois são elas que introduzem a maior quantidade de calor no processo.

Para obter a melhor estimativa possível da massa de gelo, foi construído um filtro de Kalman que acabou por servir como simulador para, por exemplo, testar se o modelo de gelo desenvolvido

conseguiu ajustar-se caso existisse o contacto total de gelo numa das varetas da sonda discreta. Este filtro não desempenhou a sua função prevista devido ao facto de não se conseguir medir a espessura de gelo de forma continua como já mencionado no capítulo [3](#).





## Capítulo 5

# Base de dados

Ao longo do presente capítulo serão abordadas, de uma forma sucinta, as ferramentas auxiliares ao desenvolvimento de uma base de dados para armazenar as informações provenientes das máquinas ou introduzidas quer pela equipa técnica, quer pelo utilizador comum. Também será dada a conhecer a estrutura da base de dados, bem como as funcionalidades que esta desempenha.

### 5.1 Software

Toda a interface relativa à base de dados, foi concebida recorrendo a uma IDE (*Integrated Development Environment*) designada Qt Creator. Desenvolvida pela “The Qt Company”, uma subsidiária da Digia Plc, o Qt abrange uma vasta área de sistemas operativos, tais como Linux, Windows, Android ou até mesmo QNX [44]. Esta IDE permite criar interfaces gráficas de forma rápida, tal como permite ao programador completar instruções de código de forma inteligente. O sistema de ajuda integrado e de indentação de código facilita o desenvolvimento e sobretudo torna a leitura do código mais fácil.

Para a construção da base de dados foi usado o phpPgAdmin, que é uma ferramenta *web* responsável por gerir base de dados em PostgreSQL [45].

### 5.2 Estrutura

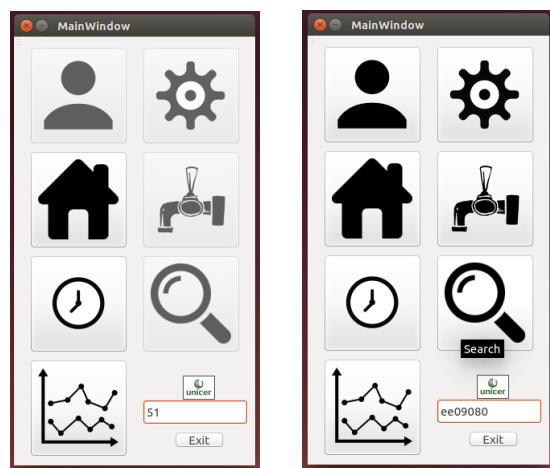
A estrutura da base de dados apresentada no anexo A expõe o modelo da base de dados que permite armazenar os dados provenientes da BBB e dos utilizadores. Esta é constituída por sete tabelas onde:

- **Type** - guarda as diferentes configurações (vertical ou horizontal, número de colunas, etc) existentes relativas às máquinas;
- **Technical** - reúne todos os técnicos responsáveis pela manutenção;
- **Point\_of\_sale** - contém os pontos de venda onde existe extração de bebida. Cada ponto de venda tem associado um técnico que é responsável pela manutenção das máquinas existentes;

- **Machine** - tabela que guarda as máquinas introduzidas, tal como o número de série de cada controlador, sendo que cada máquina apenas pode possuir um único controlador. Cada máquina está ainda associada a um e um só estabelecimento (*Point\_of\_sale*) tal como cada uma pertence a um e um só tipo (*Type*);
- **Consumption** - armazena os dados de cada coluna relativos a cada máquina, pois uma máquina pode conter várias colunas;
- **Maintenance** - guarda os dados relativos à manutenção efetuada a uma dada máquina por um dado técnico. Permite ainda guardar o estado da manutenção (se concluída, a decorrer ou agendada);
- **Timetable** - armazena o horário de funcionamento de cada máquina, bem como a existência de eventos agendados;

### 5.3 Aplicação/Funcionalidades

Tal como mencionado no início deste capítulo, foi desenvolvida uma aplicação em Qt para Linux com o objetivo de consultar e alterar dados na base de dados. A interface encontra-se dividida em sete ícones diferentes sendo que cada um corresponde a uma funcionalidade diferente. Estas funcionalidades são atribuídas conforme a autenticação do utilizador, como ilustra a figura 5.1, sendo que nas secções seguintes serão apresentadas algumas das funcionalidades implementadas por esta mesma aplicação. Primeiramente, cada utilizador deve aceder à sua área de trabalho por meio de um “username” e “password” como é visível na figura B.13.



(a) Menus associados aos responsáveis pelos estabelecimentos

(b) Menus associados aos técnicos da Unicer

Figura 5.1: Interface inicial da aplicação

### 5.3.1 Adicionar/Alterar técnico

Este menu permite adicionar e alterar dados relativamente aos técnicos. A alteração de dados dos técnicos só é permitida se esse mesmo técnico estiver na sua própria conta, como mostra a figura B.4 presente nos anexos.

Para a adição de novos técnicos (ver figura B.6 em anexo), basta apenas completar todos os campos e caso estes não estejam devidamente preenchidos ou incompletos é mostrada uma mensagem de erro com ilustra a figura B.14.

### 5.3.2 Adicionar/Alterar máquinas

A adição e alteração dos dados das máquinas só podem ser executados pelos técnicos existentes na base de dados. Se o tipo da máquina a ser adicionada não constar na base de dados, deve ser primeiramente adicionado esse tipo e só depois adicionar a máquina como exibem as figuras B.1 e B.2.

A alteração da máquina, apenas permite editar os campos relativos à nova localização do ponto de venda ou a referência da BBB inserida na máquina.

### 5.3.3 Adicionar/Alterar pontos de venda

A adição de novos pontos de venda só é possível se utilizador for um técnico. Essa edição implica uma vez mais o preenchimento dos campos obrigatórios como é ilustrado em B.9. Uma vez adicionado, o este apenas podem alterar o novo responsável por aquele ponto de venda.

O gerente do ponto de venda também pode editar os dados. Desses dados, fazem parte o contacto, email, coordenadas geográficas e *password* como é visível na figura B.8.

### 5.3.4 Pesquisa/remoção de dados

A pesquisa e remoção em tabela só é possível por parte da Unicer. Esta remoção de dados é feita apenas pelos técnicos, onde para eliminar um dado basta clicar sobre o elemento a remover e seguidamente confirmar, como presente na figure B.7. Caso a remoção não seja possível, é dada uma mensagem de erro.

### 5.3.5 Adicionar/Editar manutenção

Numa primeira versão da interface, foi desenvolvido um menu (ver figura B.11) que permite associar os sensores aos pontos escolhidos para a instalação dos mesmos. A equipa técnica pode de uma forma simples ligar por USB a BBB ao computador, e efetuar desta forma a configuração. Está é um forma alternativa de configuração sem recorrer ao ambiente interno desta. Caso a BBB não esteja ligada, a aplicação mostra uma mensagem de erro ao fim de 15 segundos como ilustrado em B.15.

Neste mesmo menu ainda é possível registar as observações ou o estado da manutenção efetuada a uma determinada máquina.

### 5.3.6 Consulta de consumos

Esta funcionalidade é válida quer para a Unicer, quer para os gerentes. No caso dos gerentes, são mostradas todas as máquinas associadas àquele ponto de venda sendo possível depois consultar os dados relativamente a uma máquina escolhida, organizada por dia, mês ou ano. Nesta primeira versão apenas são apresentadas os consumos diários como se pode verificar na imagem [B.12](#).

Quanto aos técnicos, estes podem consultar os consumos de todas as máquinas desde que obtenham o número de série da máquina em questão.

### 5.3.7 Definir horário de funcionamento ou eventos

Este interface permite ainda aos gerentes dos pontos de venda, definir o horário semanal e de fim de semana, para mais tarde esta informação ser utilizada pelo controlador.

Sabendo que irá ocorrer um evento (ver ilustração [B.10](#)), o gerente pode definir a data e hora de início e fim, para posteriormente serem utilizadas como entradas para o modelo.

### 5.3.8 Envio de consumos da BeagleBone para a base de dados

O envio de dados da BBB para a base de dados é efetuado com recurso ao algoritmo [2](#). Todos os dados contidos num ficheiro de texto são enviados para a base de dados sem o risco de repetição dos dados imposto por este mesmo algoritmo.

---

**Algoritmo 2** Envio de dados da BBB para a base de dados

---

```

função COPYFILE2DATABASE(DataBase, lastLength)
  Ler ficheiro "Data_Temperature.txt";
  se ficheiro_aberto então:
    Ir até ao final do ficheiro;
    length  $\leftarrow$  tamanho do ficheiro;
    se length > lastLength então:
      Reposicionar o ficheiro na posição lastLength;
      length  $\leftarrow$  retorno da função readFile2DataBase;
    senão se length < lastLength então
      lastLength  $\leftarrow$  0;
      length  $\leftarrow$  retorno da função readFile2DataBase;
    fim se
    Fechar ficheiro;
    devolve lastLength;
  senão se length < lastLength então
    devolve erro;
  fim se
fim função

função READFILE2DATABASE
  enquanto ficheiro  $\neq$  fim do ficheiro execute
    Separar campos das linhas do ficheiro;
    Inserir dados na base de dados
    se inserção falhada então:
      devolve erro;
    senão
      Actualiza valor de lastLength;
    fim se
  fim enquanto
  devolve lastLength;
fim função

```

---

## 5.4 Conclusão

Neste capítulo foram descritas as funcionalidades implementadas pela aplicação e pela base de dados que permitem uma maior facilidade no acompanhamento de falhas e consumos das máquinas, bem como uma maior interatividade entre o Homem e a Máquina.

À medida que se adicionam mais máquinas, o débito de informação para a base de dados vai aumentar consideravelmente, sendo que não existe risco de perder dados, pois as colisões de dados são tratadas internamente pelo próprio servidor.

O envio de dados da BBB para a base de dados é feito com recurso a um algoritmo descrito neste capítulo. Este envio de informação só ocorre se existir uma ligação à *Internet*, caso contrário os dados ficam armazenados no cartão SD como já referido anteriormente.



## Capítulo 6

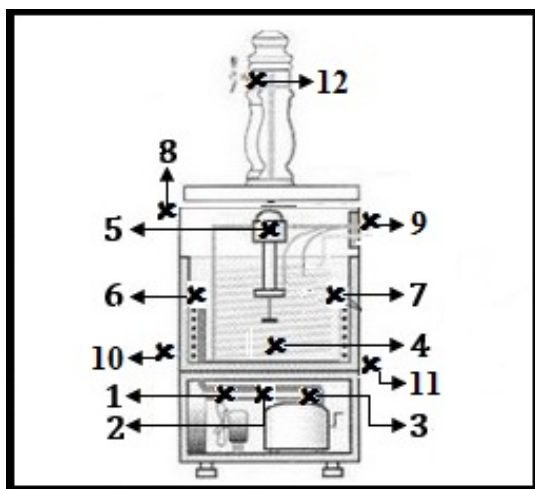
# Resultados

Neste capítulo serão apresentados os resultados relativos aos testes reais efetuados, bem como os resultados da previsão de massa de gelo.

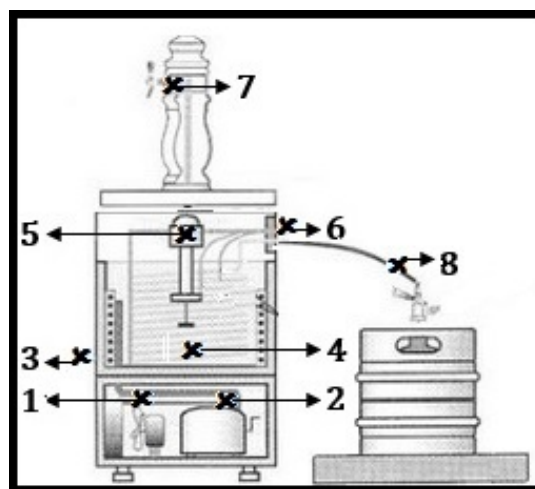
Os resultados reais estão associados à medição de temperaturas, sondas de gelo (medição contínua e discreta), extração de cerveja, detecção da abertura da torneira e ainda serão apresentados os resultados obtidos através do filtro de Kalman .

### 6.1 Análise de Temperaturas

Numa primeira fase, foi necessário perceber quais as temperaturas à volta da máquina. Para tal instalaram-se 12 sensores de temperatura dispostos ao longo da mesma conforme ilustra a figura 6.1a.



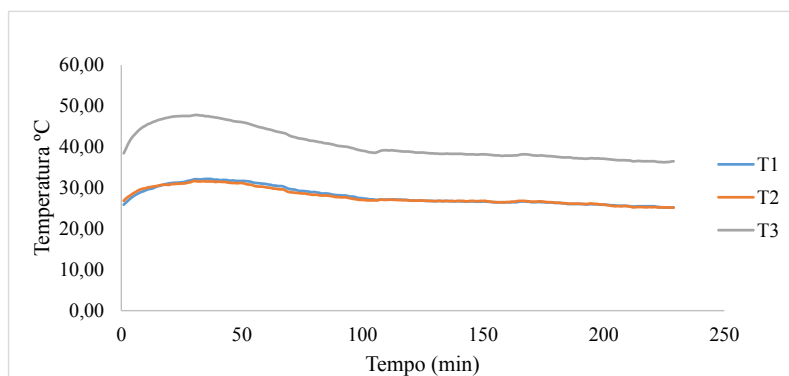
(a) Disposição dos sensores instalados na máquina antes dos testes preliminares



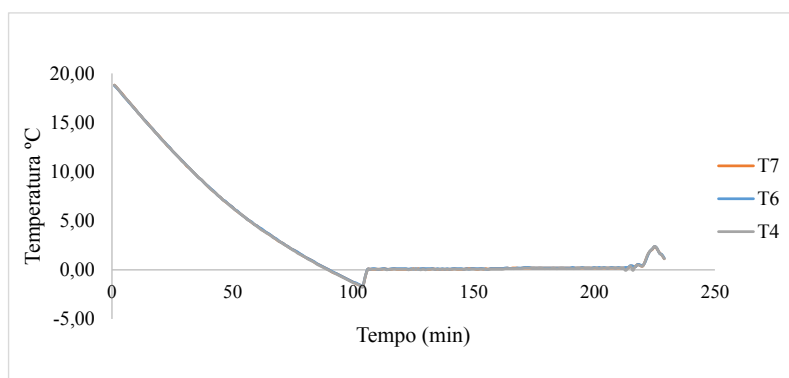
(b) Disposição dos sensores instalados na máquina após os testes preliminares

Figura 6.1: Disposição dos sensores de temperatura na máquina

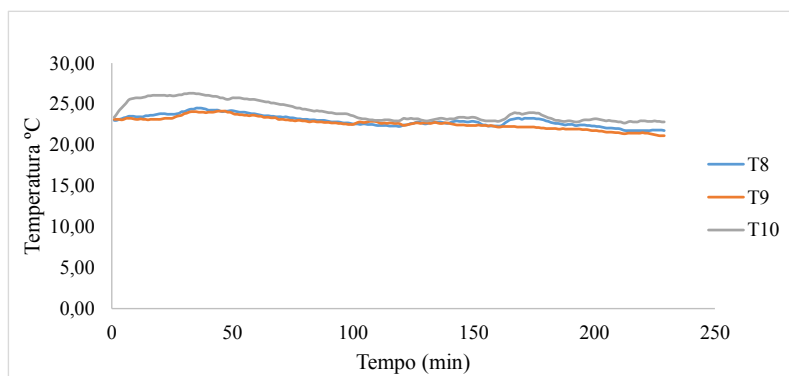
Estes 12 sensores são divididos em três zonas diferentes sendo elas a zona das máquinas (composta pelos sensores 1 a 3), do depósito de água (sensores de 4 a 7) e zona exterior (sensores 8 a 12). Após alguns ensaios verificou-se que a utilização destes 12 sensores é desnecessária e desta forma os sensores foram recolocados segundo a ilustração 6.1b. Esta decisão teve por base os gráficos representados na figura 6.2. Da análise dos mesmos, vê-se que é possível suprimir o sensor relativo à temperatura T2 existente na zona das máquinas, bem como os sensores T6 e T7.



(a) Temperatura na zona das máquinas



(b) Temperatura na zona do depósito de água



(c) Temperatura na zona exterior

Figura 6.2: Comparação das temperaturas adquiridas nas diferentes zonas da máquina



A figura 6.3 comprova isso mesmo apresentando o erro máximo entre as temperaturas T4, T6 e T7 que é de aproximadamente 1°C.

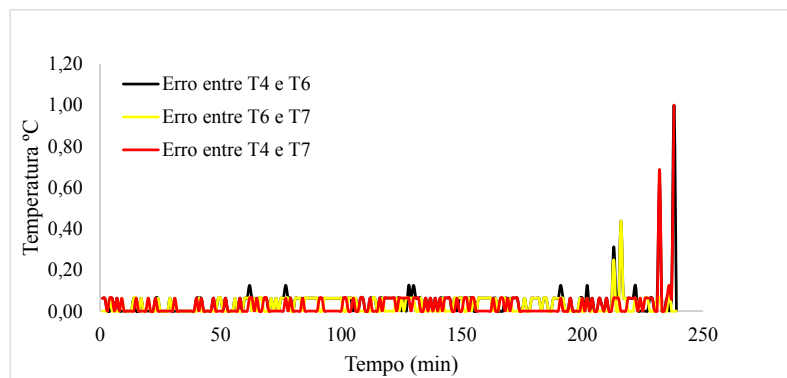


Figura 6.3: Erro entre as temperaturas na zona do depósito

De igual modo, na zona exterior foram retirados os sensores associados a T8 e T11, ficando assim os sensores relativos a T10 e T9 que se encontram à frente, no canto inferior esquerdo e atrás no canto superior direito.

## 6.2 Sondas de gelo

Para obter uma melhor estimativa da massa de gelo, é fundamental que se meça a espessura de gelo de forma a garantir que o modelo desenvolvido não possua um erro excessivo. Como já mencionado no capítulo 3, as sondas com os elétrodos prolongados e as sondas com elétrodos retilíneos e paralelos foram descartadas. Tal deve-se ao facto de os resultados obtidos na medida da resistência não serem fiáveis. Isto porque à medida que o gelo cresce a variação da resistência elétrica não é suficiente para distinguir diversas espessuras de gelo, como se pode comprovar nos gráficos 6.4 e 6.5.

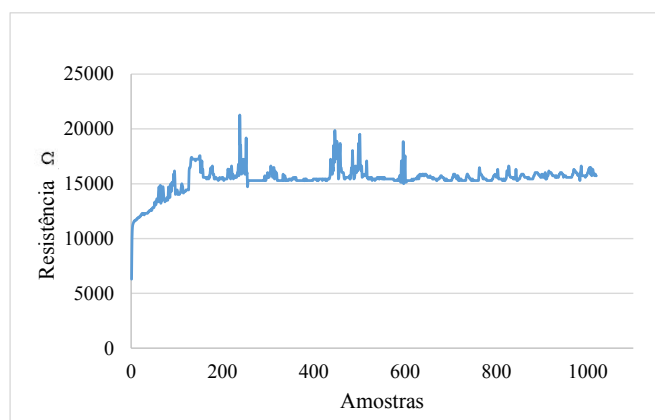


Figura 6.4: Resistência associada às sondas metálicas com os elétrodos retilíneos e paralelos

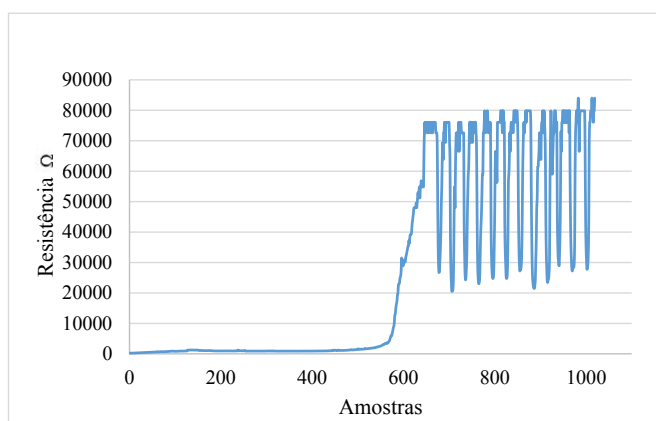


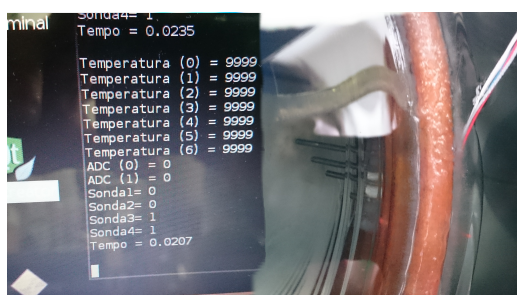
Figura 6.5: Resistência associada às sondas metálicas com os elétrodos prolongados

A obtenção do valor destas resistências usou um divisor resistivo de forma a que a tensão seja 2,5V aquando da existência de apenas água.

Em termos teóricos, à medida que o gelo cresce, as varetas das sondas vão ficar cobertas de gelo, o que deveria permitir a formação de uma camada isolante, levando assim a um aumento da resistência elétrica, que neste caso não se verifica.

As sondas discretas apresentam melhor resultado como é possível observar na figura 6.6a, sendo que estas também apresentam algumas fragilidades. A primeira deve-se ao facto de a condutividade da água se alterar de amostra para amostra, o que faz com que a corrente circule com maior ou menor dificuldade. Assim, o desempenho da sonda será alterado, sendo por isso necessário uma calibração prévia das mesmas.

O outro fator deve-se à sujidade presente na água (ver figura 6.6b) como por exemplo gordura proveniente da lubrificação do agitador, ou até mesmo o excesso de sedimentos viscosos que, para além de influenciarem o crescimento de gelo, dificultam a passagem da corrente elétrica, pois é criado um isolamento nas varetas que dá origem a falsos positivos.



(a) Funcionamento das sondas discretas em ambiente real onde o número “1” significa que já existe o contacto total do gelo. A restante informação não é relevante para o caso



(b) Água salobra. As sondas discretas estão ocultas devido à sujidade

Figura 6.6: Funcionamento das sondas discretas dentro do depósito de água

### 6.3 Filtro de Kalman

O filtro de Kalman foi usado para estimar a massa de gelo, pois permite aglutinar as medidas provenientes dos sensores com a da massa de gelo estimada. Tendo em conta que não foi possível obter medições contínuas da massa, recorreu-se aos valores estimados através do modelo para comprovar a eficácia do filtro. Os gráficos representados na figura 6.7 mostram o correto funcionamento deste filtro.

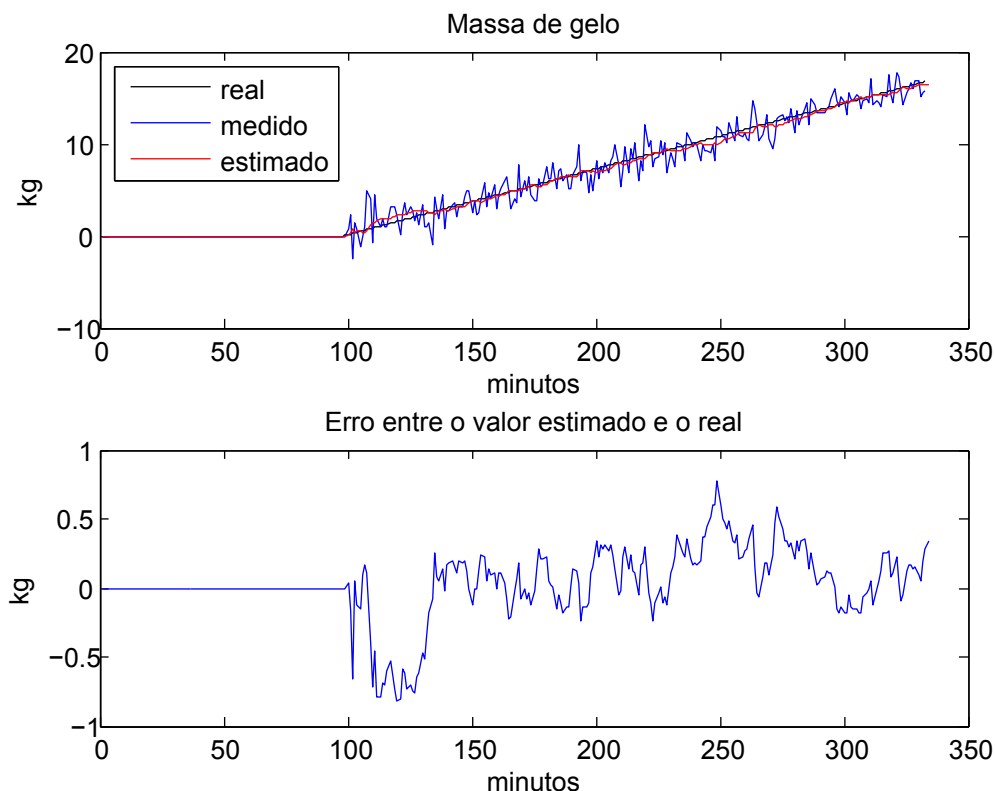


Figura 6.7: Resultado da simulação do filtro de Kalman

Esta leitura simulada dos sensores foi obtida através da massa calculada pelo modelo adicionando-lhe ruído gaussiano com um desvio padrão de 1,2 kg. Apesar deste resultado, o filtro acabou por não ser usado dada a difícil aquisição contínua da massa como já mencionado.

### 6.4 Estimação do gelo

A validação do modelo descrito no capítulo 4 foi feita recorrendo a ensaios reais onde foram medidas várias temperaturas como descrito na secção 6.1. A aquisição foi feita a uma frequência de 1 minuto sendo que a aquisição de todas as temperaturas em conjunto com o armazenamento das mesmas tem uma duração média de aproximadamente 4,75 segundos como é possível observar no gráfico 6.8.

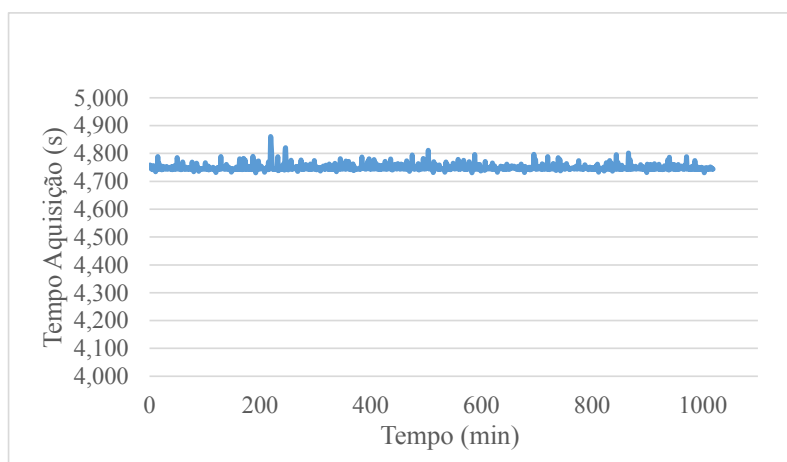


Figura 6.8: Tempo de aquisição e armazenamento de dados

Os dois primeiros ensaios a serem realizados, consistem em baixar a temperatura do depósito de água de uma dada temperatura até aos  $0^{\circ}\text{C}$ . Os gráficos das figuras 6.9 e 6.10 são o resultado da temperatura da água do depósito comparada com a temperatura simulada no MATLAB usando o modelo desenvolvido. A simulação correspondente ao gráfico 6.9 teve como valores de temperatura iniciais do depósito e ambiente  $18,78^{\circ}\text{C}$  e  $23,25^{\circ}\text{C}$  respetivamente. De igual modo, as temperaturas correspondentes ao gráfico 6.10 são  $22,97^{\circ}\text{C}$  e  $23,97^{\circ}$ , sendo que a temperatura ambiente real adquirida em cada instante está como entrada no modelo, pois como esta não é constante ao longo do dia podia levar a resultados errados.

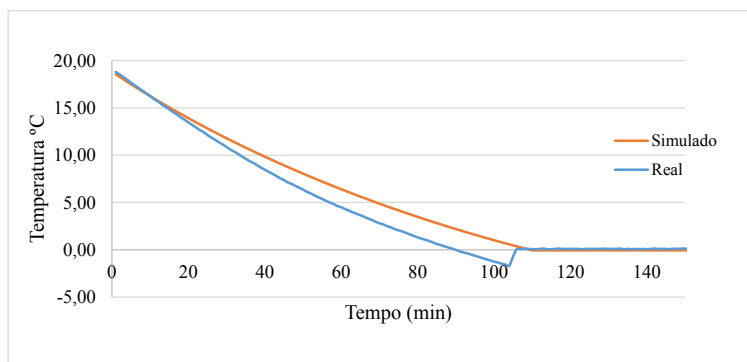


Figura 6.9: Resultado da temperatura da água do depósito real e simulada (1º ensaio)

Com base no gráfico 6.9, pode concluir-se que a água atinge os  $0^{\circ}\text{C}$  (constantes) em 107 minutos no ensaio e 111 na simulação, o que leva a um erro de aproximadamente 3%. No que diz respeito ao gráfico 6.10, pode concluir-se que a água demora cerca de 129 minutos a atingir os  $0^{\circ}\text{C}$  (constantes) na realidade e 129 minutos na simulação. Apesar de a temperatura estabilizar praticamente no mesmo instante no gráfico 6.10, o erro máximo e médio associado às diferenças de temperaturas é de aproximadamente  $2,39^{\circ}\text{C}$  e  $0,13^{\circ}\text{C}$ , sendo que estes mesmos erros corresponde a  $2,43^{\circ}\text{C}$  e  $-0,42^{\circ}\text{C}$  mas desta feita em 6.9.

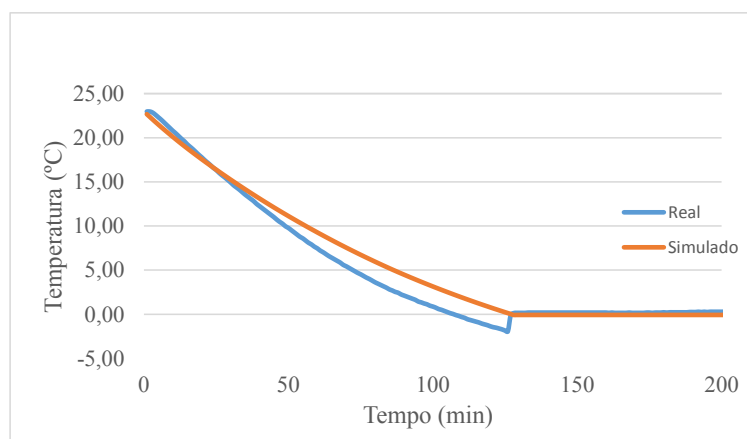


Figura 6.10: Resultado da temperatura da água do depósito real e simulada (2º ensaio)

Uma vez analisada a temperatura do depósito, que é fundamental nas primeiras horas do funcionamento da máquina, foi necessário verificar se a massa de gelo simulada vai de encontro com a massa de gelo real. A massa de gelo real é de difícil obtenção, pois obriga ao término do ensaio, e consequentemente obriga ao recomeço do mesmo, pois para pesar a máquina é necessário despejar toda água contida no seu interior.

Com uma temperatura ambiente de 23,64°C e uma temperatura da água de 21,22°C, colocou-se a máquina a trabalhar durante 250 minutos e no final pesou-se a mesma sem água obtendo um peso de 58,51 kg. Uma vez descongelada, voltou-se a pesar a máquina e obteve-se um peso de aproximadamente 48,59 kg. Com base nestes dois valores dos pesos, chega-se à conclusão que se obteve 9,9 kg de massa de gelo formada.

Introduzidas as temperaturas na simulação do MATLAB, chega-se à conclusão que a massa criada foi de 8,7 kg, sendo que o erro associado é aproximadamente 12 %, como se pode constatar na figura 6.11.

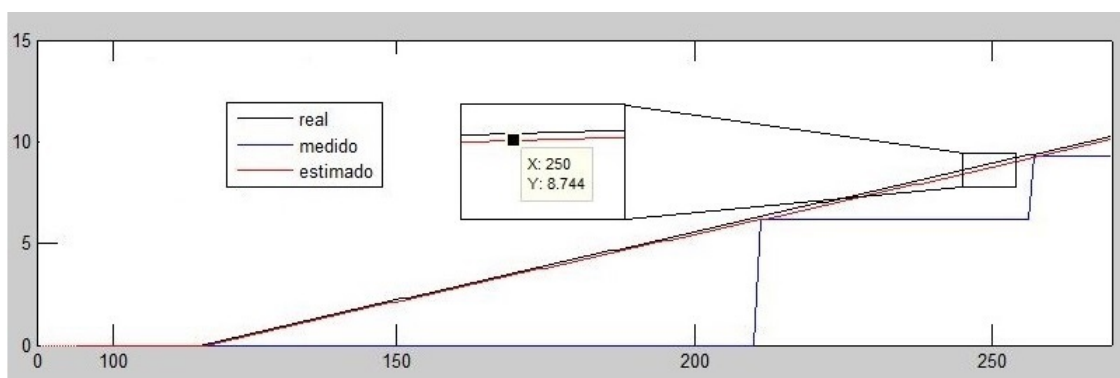


Figura 6.11: Resultado da massa de gelo simulada ao fim de 250 minutos. Eixo das abcissas representa o tempo em minutos, Eixo das ordenadas representa a massa de gelo em kg

## 6.5 Consumos *à priori*

Sendo um dos objetivos do trabalho melhorar a eficiência da máquina, foi testado um cenário de consumos conhecidos *à priori*. Isto é, se existir um evento pré programado este é dado a conhecer á máquina o que permite uma melhor gestão do funcionamento da mesma. Com base nesta informação é possível prever a massa de gelo que irá ser perdida durante o tempo de consumo. Assim, a máquina é programada para ligar antecipadamente num tempo suficiente para gerar a massa de gelo necessária para que à hora programada a cerveja possa ser servida.

Para tal, retiraram-se 30 litros de cerveja em 20 minutos. Mediu-se experimentalmente a perda de massa de gelo e compararam-se os resultados experimentais com os obtidos por simulação (ver figura C.1). Para estimar a massa perdida foi considerado o pior caso, que é quando o evaporador não está a retirar calor e os restantes motores estão a trabalhar.

A tabela 6.1 mostra os resultados obtidos, quer através da simulação, quer experimentalmente. Como podemos constatar, o erro obtido é de 3,48 % . Por uma questão de segurança, resolveu-se afetar o resultado da simulação por um coeficiente de segurança de 15%.

Tabela 6.1: Perda de massa numa extração conhecida *à priori*. Resultados simulados vs reais

|                 | Intervalo Tempo (min) | Capacidade (L) | Temp. Ambiente (°C) | Temp. de entrada da cerveja (°C) | Peso Inicial (kg) | Peso Final (kg) | Massa Perdida (kg) |
|-----------------|-----------------------|----------------|---------------------|----------------------------------|-------------------|-----------------|--------------------|
| <b>Real</b>     | 20                    | 30             | 27                  | 18                               | ≈ 66,5            | ≈ 61,9          | ≈ 4,6              |
| <b>Simulado</b> | 20                    | 30             | 27                  | 18                               | -                 | -               | 4,44               |

Sabendo a massa perdida, já é possível saber a que horas deve ser ligada ou não a máquina para garantir a quantidade de gelo perdido.

The screenshot shows a software interface for beer production simulation. It includes sections for estimated consumption, ice management, a control panel, and simulation time. Key elements include input fields for flow rate, start/end times, mass, and a checkbox for 'Evento' (Event) in the control panel.

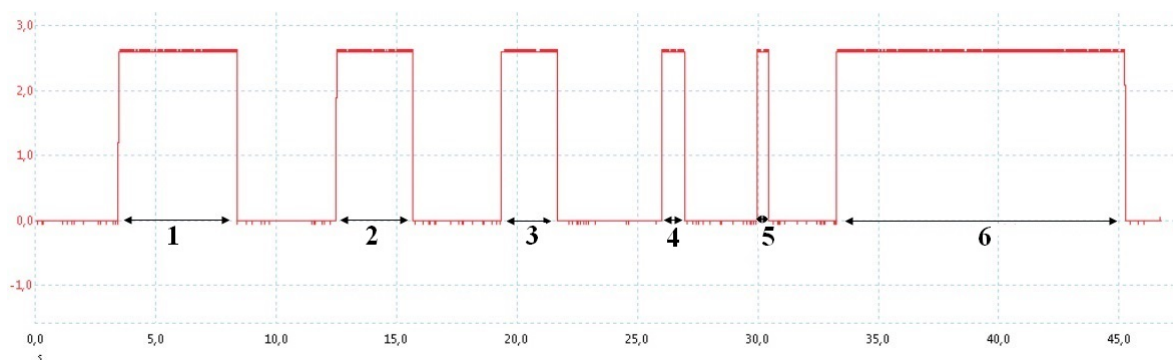
Figura 6.12: Resultado de massa de gelo perdida

Como se observa na figura 6.12, pode-se dizer que para garantir a massa de gelo perdida, a máquina necessita de ligar às 21:39 horas deste mesmo dia.

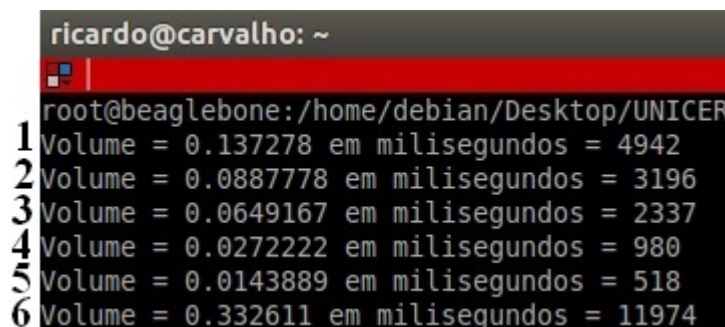
## 6.6 Abertura da torneira

A detecção de abertura da torneira permite inferir a quantidade de bebida extraída através da contagem de tempo que esta se encontra aberta, admitindo que o caudal extraído é constante e igual à capacidade máxima da máquina, que neste caso é  $100\text{ L/Hora}$ .

Para comprovar o tempo de abertura da torneira, foi desenvolvido um algoritmo na BBB que permite esta mesma contagem, desde a abertura da torneira até ao fecho. Para validar este algoritmo foram simuladas seis aberturas e consequentemente registados os seus tempos.



(a) Tempo de abertura da torneira recorrendo a um osciloscópio [46]. Escala temporal = s, Escala de tensão =  $1\text{ V/div}$



(b) Tempo de abertura da torneira recorrendo ao algoritmo

Figura 6.13: Resultados obtidos relativamente à deteção da abertura da torneira

Na tabela 6.2 encontram-se registados os intervalos de tempo correspondentes à abertura da torneira (ver figura 6.13a) sendo estes medidos com um osciloscópio à saída do circuito da figura 3.8a. Ainda nesta mesma tabela, encontram-se os tempos registados pelo algoritmo desenvolvido na BBB.

Tabela 6.2: Comparação entre os tempos de abertura medidos pelo algoritmo e osciloscópio

|                    |                                      | Osciloscópio | Algoritmo | Erro (%) | Volume Estimado (cl) |
|--------------------|--------------------------------------|--------------|-----------|----------|----------------------|
| <b>Intervalo 1</b> | <b>Início (s)</b>                    | 3,476        | -         | 0,22     | 13,7                 |
|                    | <b>Fim (s)</b>                       | 8,407        | -         |          |                      |
|                    | <b><math>\Delta</math> Tempo (s)</b> | 4,931        | 4,942     |          |                      |
| <b>Intervalo 2</b> | <b>Início (s)</b>                    | 12,54        | -         | 0,82     | 8,87                 |
|                    | <b>Fim (s)</b>                       | 15,71        | -         |          |                      |
|                    | <b><math>\Delta</math> Tempo (s)</b> | 3,17         | 3,196     |          |                      |
| <b>Intervalo 3</b> | <b>Início (s)</b>                    | 19,34        | -         | 0,3      | 6,49                 |
|                    | <b>Fim (s)</b>                       | 21,67        | -         |          |                      |
|                    | <b><math>\Delta</math> Tempo (s)</b> | 2,33         | 2,337     |          |                      |
| <b>Intervalo 4</b> | <b>Início (s)</b>                    | 26,03        | -         | 2,08     | 2,72                 |
|                    | <b>Fim (s)</b>                       | 26,99        | -         |          |                      |
|                    | <b><math>\Delta</math> Tempo (s)</b> | 0,96         | 0,98      |          |                      |
| <b>Intervalo 5</b> | <b>Início (s)</b>                    | 29,93        | -         | 4,07     | 1,43                 |
|                    | <b>Fim (s)</b>                       | 30,47        | -         |          |                      |
|                    | <b><math>\Delta</math> Tempo (s)</b> | 0,54         | 0,518     |          |                      |
| <b>Intervalo 6</b> | <b>Início (s)</b>                    | 33,29        | -         | 0,23     | 33,3                 |
|                    | <b>Fim (s)</b>                       | 45,30        | -         |          |                      |
|                    | <b><math>\Delta</math> Tempo (s)</b> | 12,01        | 11,974    |          |                      |

Com base na tabela 6.2 facilmente se percebe que o erro associado a extrações superiores a 15 centilitros é muito pequeno (note-se que a tiragem mínima é de 20 cl). Apesar de estes resultados serem fiáveis, a presença de um caudalímetro permitiria proteger algumas situações que a simples deteção da abertura da torneira não permite. Estas fragilidades estão associadas ao fim da bebida no barril ou quando se abre a torneira sem o barril estar ligado à máquina.

## 6.7 Conclusões

Neste capítulo foram expostos os resultados obtidos associados à medição de temperaturas e massa de gelo, bem como a deteção da abertura da torneira e a escolha do reposicionamento dos sensores.

Após um conjunto de análise de dados foi possível validar todo o sistema de aquisição de dados definidos ao longo deste documento.



## Capítulo 7

# Conclusões e Trabalho Futuro

### 7.1 Conclusão

Este documento reflete o trabalho desenvolvido sobre uma máquina de extração de bebidas à pressão de 100 litros, com apenas uma coluna de extração de bebida.

Numa fase inicial, foi necessário elaborar um estudo teórico sobre a topologia e funcionamento da máquina, o qual permitiu escolher os sensores de temperatura e o controlador que melhor se adequam face aos problemas de excesso de humidade e medição da espessura de gelo.

Para combater estas adversidades, foram inicialmente instalados doze sensores de temperatura à prova de água com o intuito de perceber o valor das temperaturas à volta da máquina em ensaio. Após os primeiros testes conseguiram-se reduzir os doze sensores para oito, uma vez que a variação de temperaturas em alguns sensores dentro da mesma zona eram irrelevantes.

Quanto à medição da massa de gelo, foram desenvolvidos dois pares de sondas com o objetivo de obter uma medição continua da massa. Esta estratégia não foi bem sucedida, pois o crescimento de gelo, ao longo do tempo, não provoca uma variação de resistência elétrica a partir da qual sejamos capazes de inferir a massa de gelo real. A nova estratégia passou pelo desenvolvimento de sondas que possibilitaram uma medida discreta da espessura de gelo. Estas apresentaram bons resultados, apesar de as diferentes condutividades da água das várias cubas ser um problema a resolver, obrigando assim a uma prévia calibração das sondas.

O modelo termodinâmico desenvolvido em MATLAB, permitiu simular uma máquina de extração de 100 litros, onde foram contemplados os ganhos energéticos. Este modelo possibilita estimar a massa de gelo e a temperatura da água contida na máquina, sendo este corrigido ao longo do tempo pelo valor vindo das sondas discretas. A estimação feita inicialmente com recurso a sondas de medida contínua de resistividade, usando o filtro de Kalman, não foi possível, dado o fracasso das primeiras sondas desenvolvidas. No entanto este filtro acabou por ser usado como meio de validação das sondas discretas, permitindo assim verificar se as correções ao modelo eram satisfatórias.

Posteriormente, foi desenvolvida uma base de dados que permite armazenar todos os dados provenientes quer da BeagleBone, quer introduzidos pelos utilizadores. Caso exista *Internet*, a

BeagleBone comunica diretamente com a base de dados, enviando os dados armazenados no cartão de memória. Este cartão é uma alternativa ao armazenamento de dados local caso não exista uma conexão à rede.

A conexão a uma rede *Ethernet*, permite ainda que com apenas um *smartphone* seja possível entrar no sistema da BeagleBone através de um servidor VNC instalado nesta. Em alternativa, pode-se ligar à BeagleBone com computador de um cabo USB, ou através de uma outra ligação ponto a ponto, tal como *Ethernet*.

## 7.2 Trabalho Futuro

Nesta secção são apresentadas algumas melhorias a introduzir para complementar o trabalho apresentado. Para tal, propõe-se:

- Melhorar a pesquisa de dados para ser mais rápida;
- Desenvolver um algoritmo para lidar com um grande volume de dados (*Big Data*);
- Atribuir um endereço IP estático à BeagleBone para tornar mais fácil o acesso a esta sem a necessidade de uma ligação cablada;
- Converter parte do modelo matemático desenvolvido em MATLAB para outra linguagem;
- Otimizar o sistema de aquisição de dados de forma a diminuir o tempo de aquisição associado;
- Testar o modelo desenvolvido na BeagleBone e instalar a máquina num ponto de venda para primeiros teste de integração;
- Proteger motores contra curto circuitos e sobrecargas;
- Otimizar o algoritmo de previsão de perda de massa de gelo com extrações conhecidas *à priori*.

## **Anexo A**

### **Estrutura da base de dados**

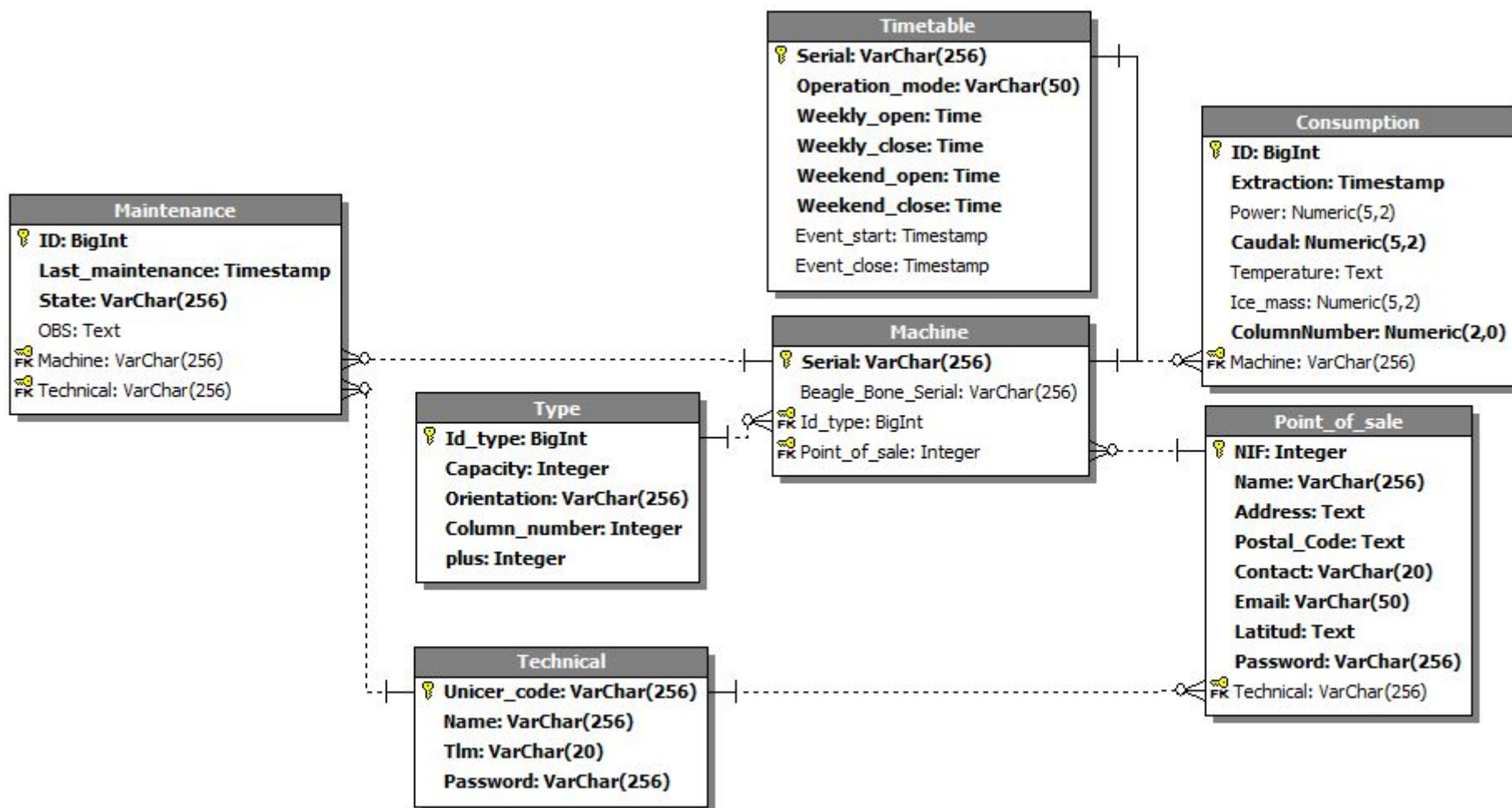


Figura A.1: Estrutura da base de dados

## Anexo B

# Funcionalidades da aplicação

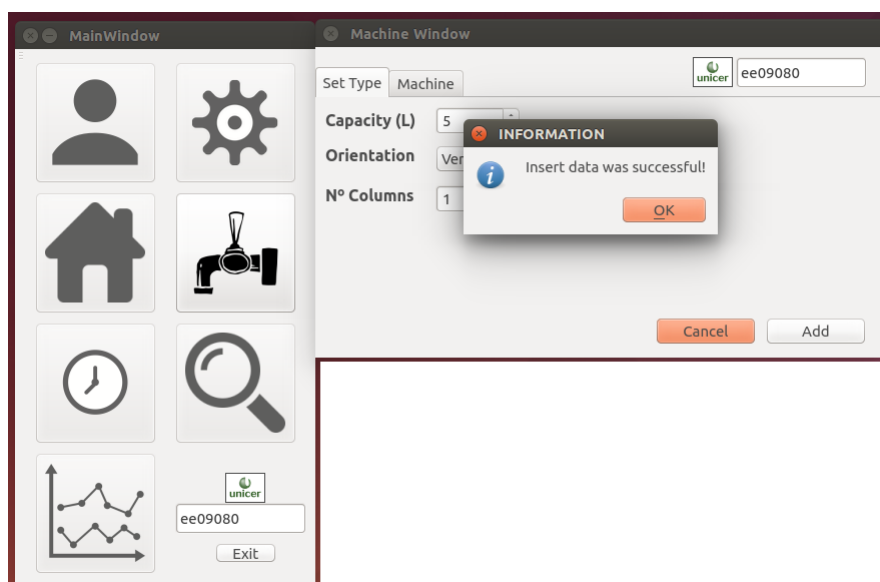


Figura B.1: Adicionar novas configurações de máquinas

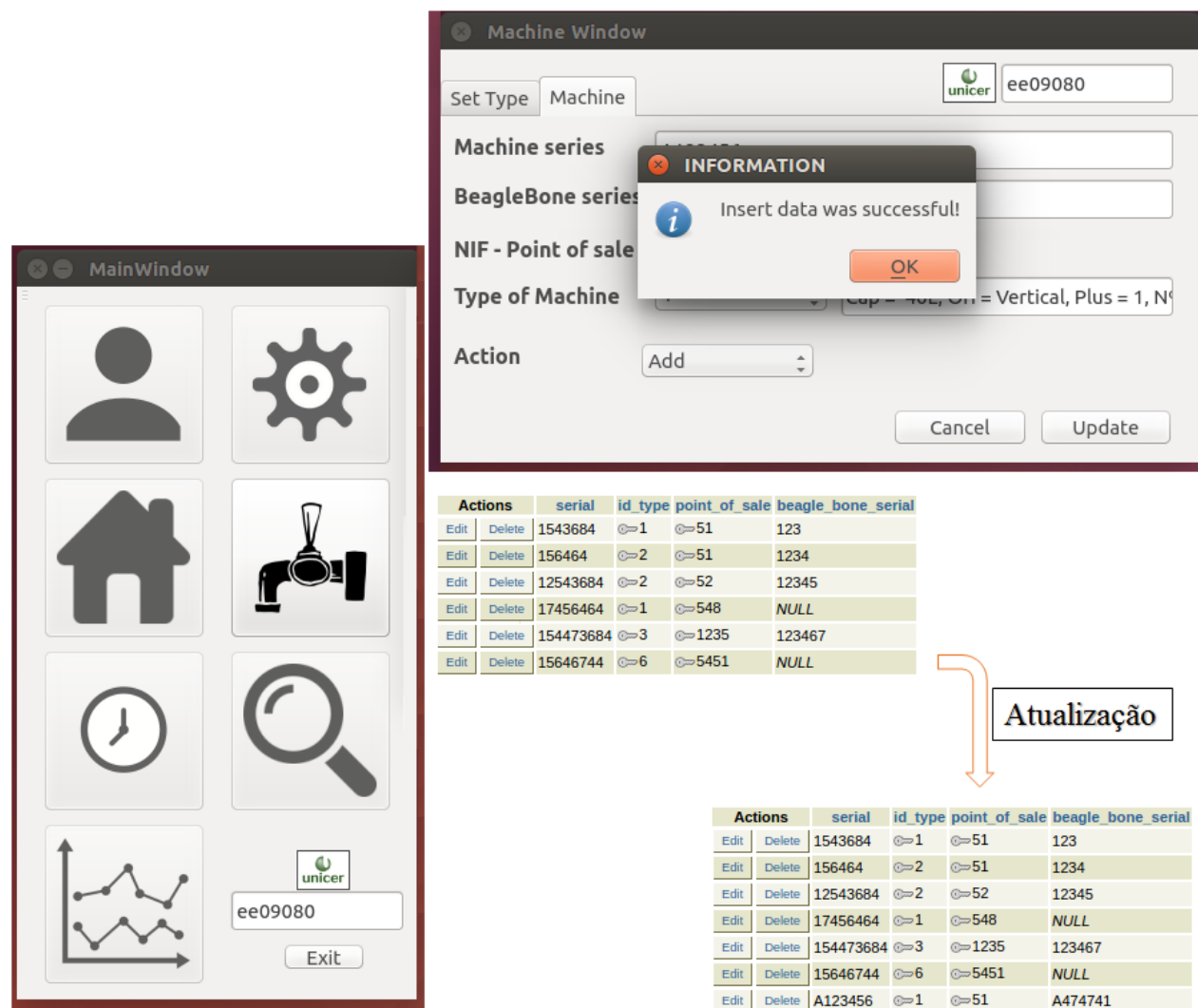


Figura B.2: Janelas relativas à adição de novas máquinas. As tabelas correspondem aos dados armazenados na base de dados desenvolvida

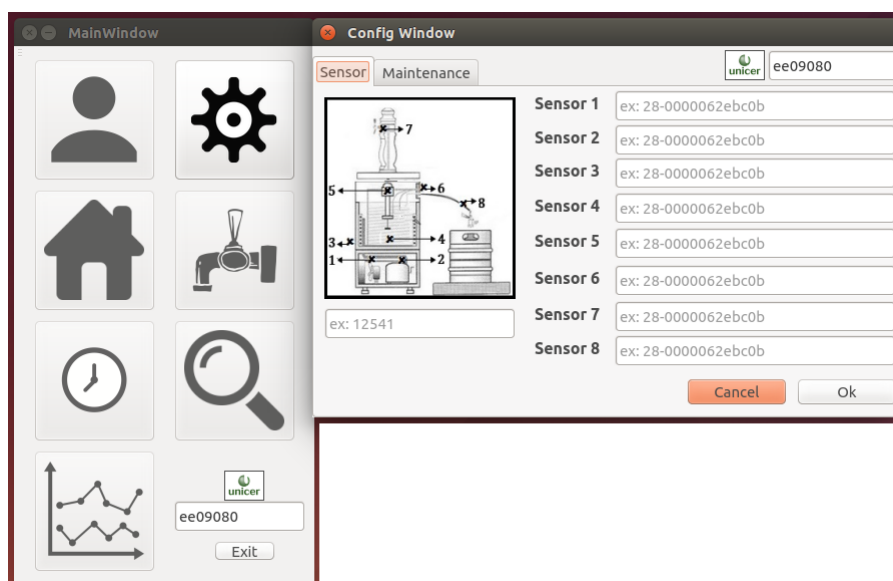


Figura B.3: Configurar sensores na BBB (versão 1)

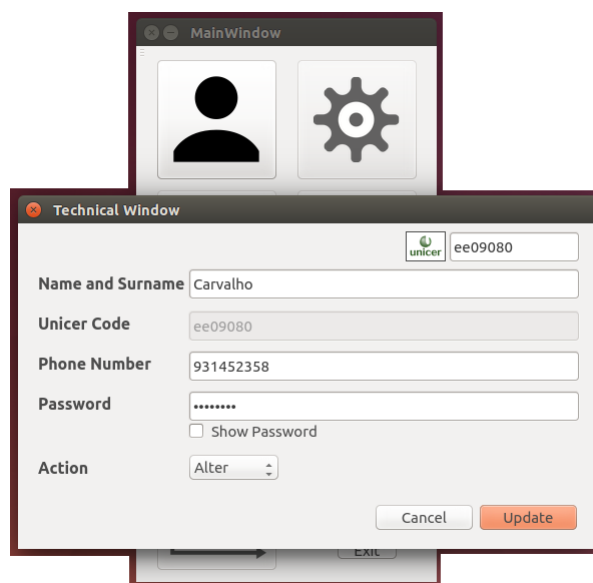


Figura B.4: Alterar configurações relativas ao técnico

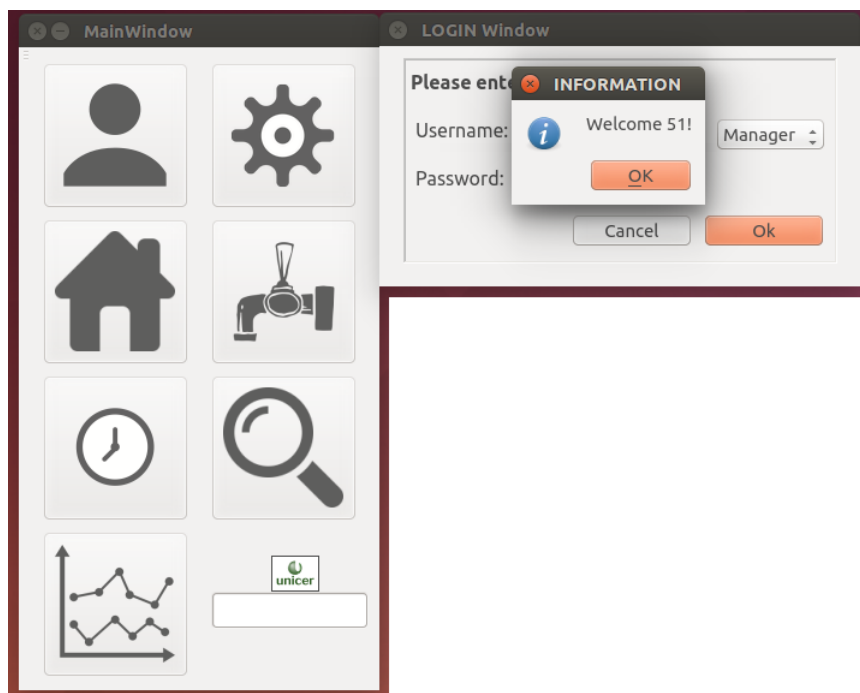


Figura B.5: Autenticação dos responsáveis pelos estabelecimentos

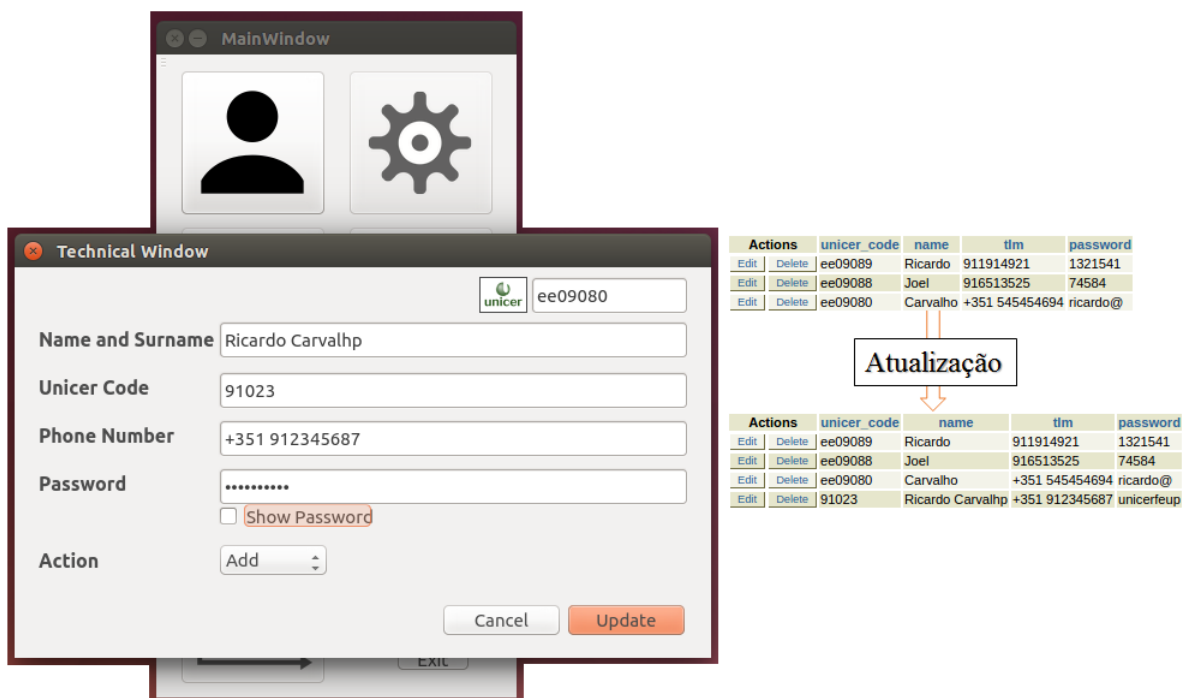


Figura B.6: Criar um novo técnico. As tabelas correspondem aos dados armazenados na base de dados desenvolvida



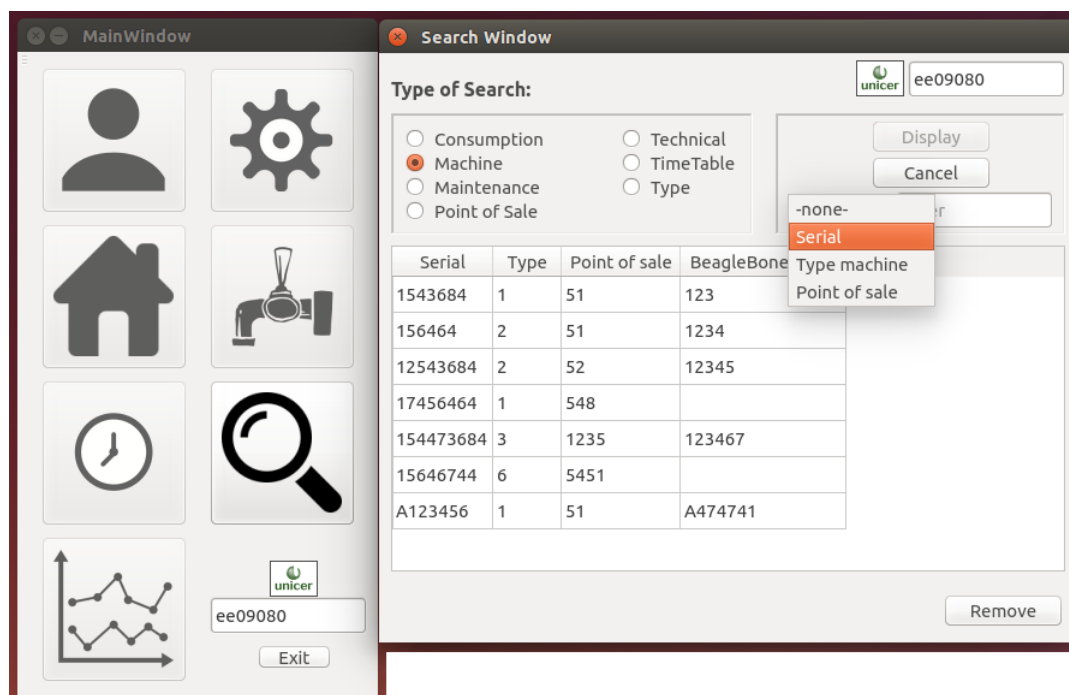


Figura B.7: Pesquisa de dados

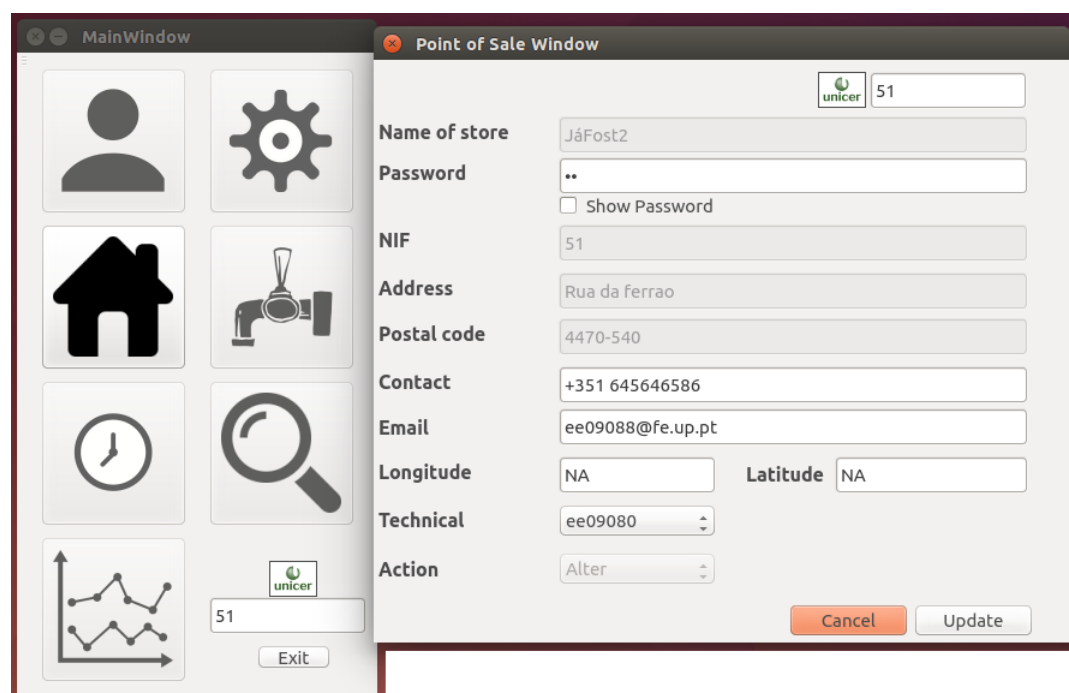


Figura B.8: Alterar dados do ponto de venda

**MainWindow**

**Point of Sale Window**

unicer ee09080

Name of store: ex: Café da esquina

Password:  Show Password

NIF: ex: 123456789

Address: ex: Rua da Ferrão nº 500 Arnoso Santa Maria

Postal code: ex: 4770-540

Contact: ex: +351 911234567

Email: ex: ee09089@fe.up.pt

Longitude: ex: decimal deg... Latitude: ex: decimal degrees

Technical: 91023

Action: Add View

Cancel Update

Exit

Figura B.9: Criar um novo ponto de venda

**MainWindow**

**TimeTable Window**

unicer ee09080

Machine series: ex: A12354

Operation Mode: Event

Schedule: 2015-06-17 11:00 2015-06-17 11:00

Junho 2015

| seg | ter | qua | qui | sex | sáb | dom |
|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| 25  | 26  | 27  | 28  | 29  | 30  | 31  |
| 1   | 2   | 3   | 4   | 5   | 6   | 7   |
| 8   | 9   | 10  | 11  | 12  | 13  | 14  |
| 15  | 16  | 17  | 18  | 19  | 20  | 21  |
| 22  | 23  | 24  | 25  | 26  | 27  | 28  |
| 29  | 30  | 1   | 2   | 3   | 4   | 5   |

Exit

Figura B.10: Configurar um evento

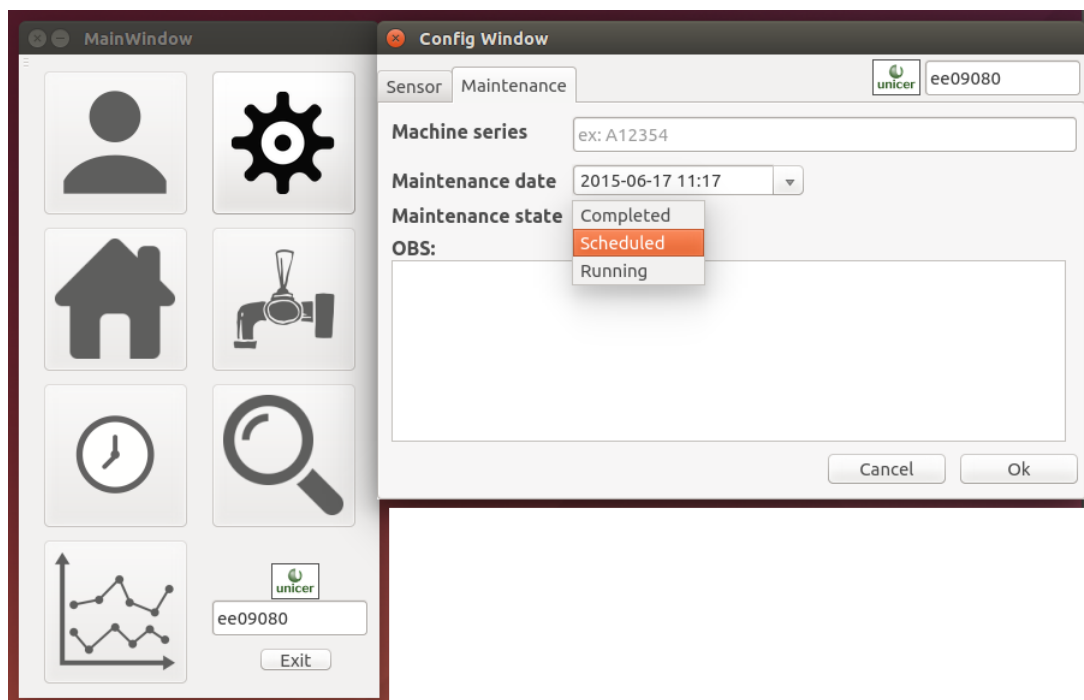


Figura B.11: Estado de manutenção de uma máquina

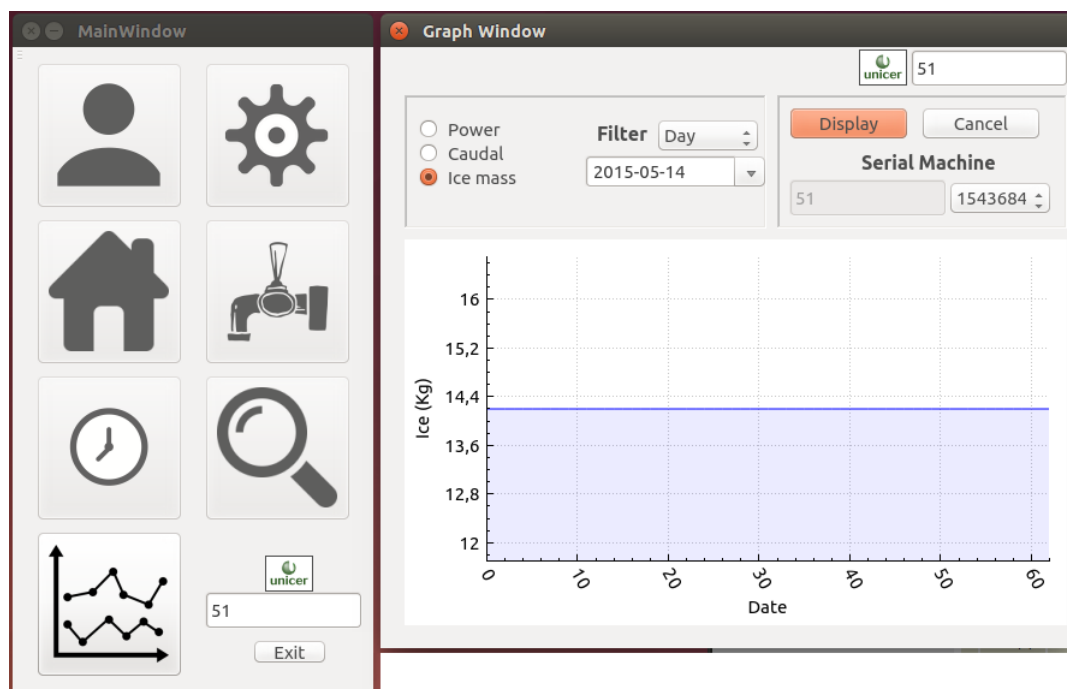


Figura B.12: Pesquisa gráfica de dados (versão inicial)

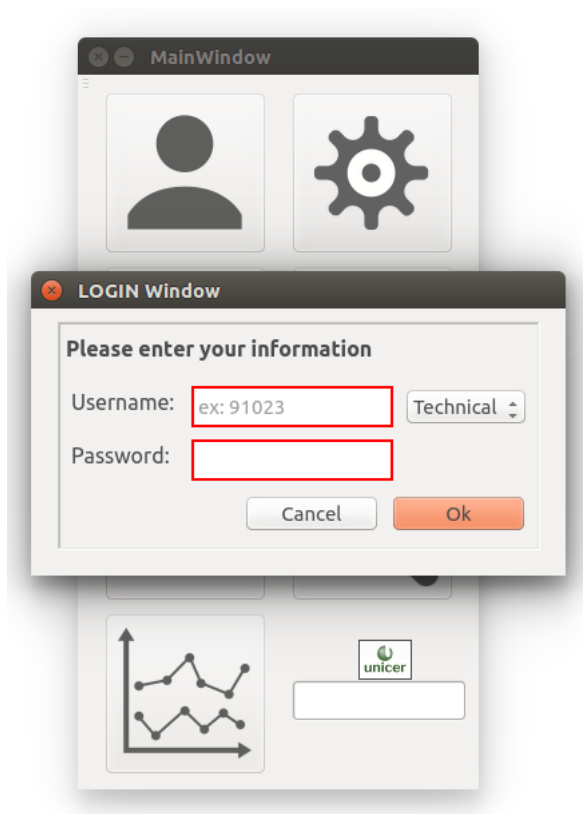


Figura B.13: Menu de autenticação

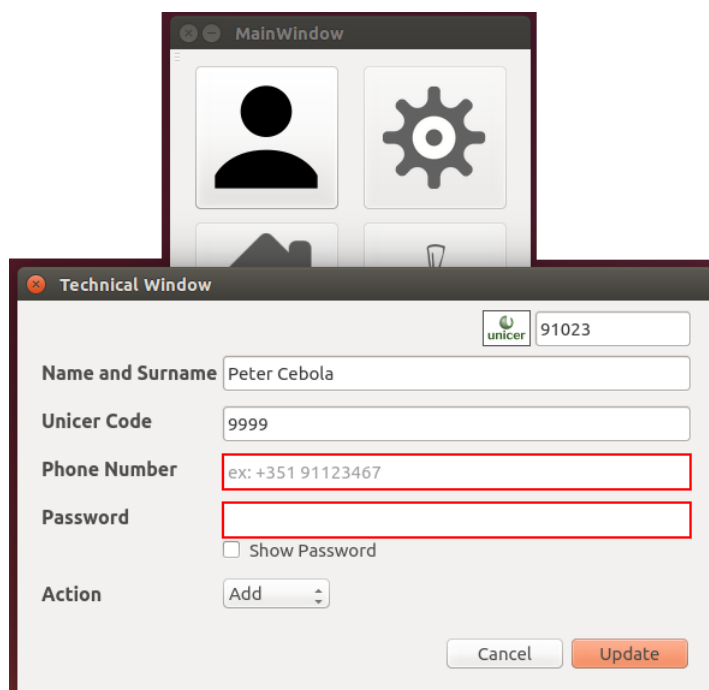


Figura B.14: Preenchimento obrigatório dos campos de texto

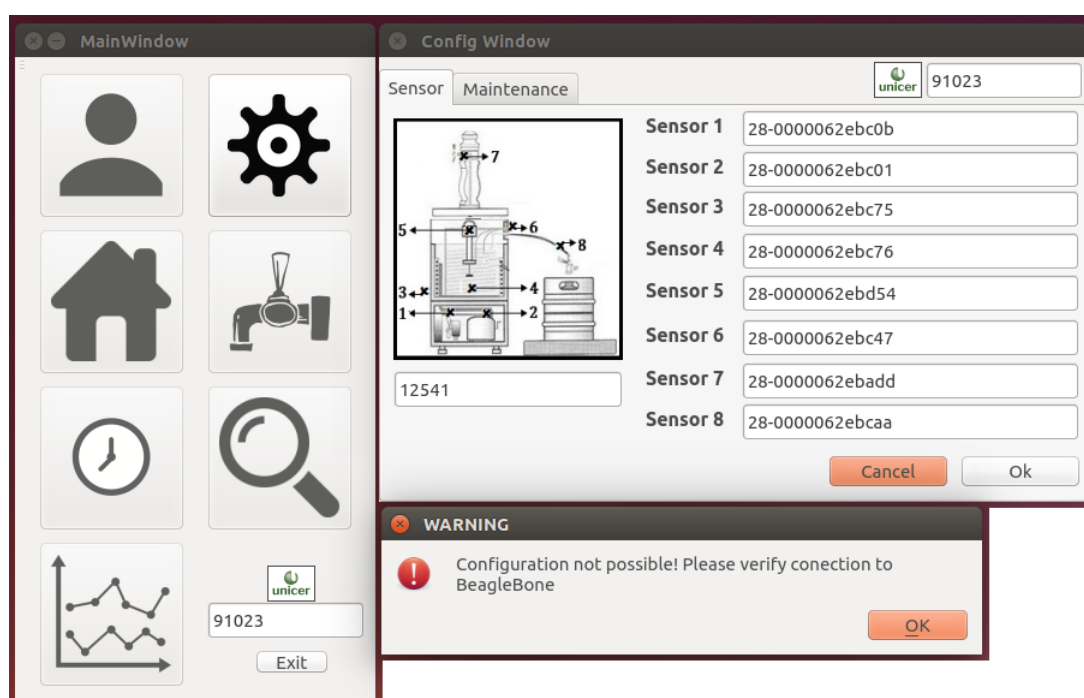


Figura B.15: Falha na conexão à BBB



## **Anexo C**

# **Simulações**

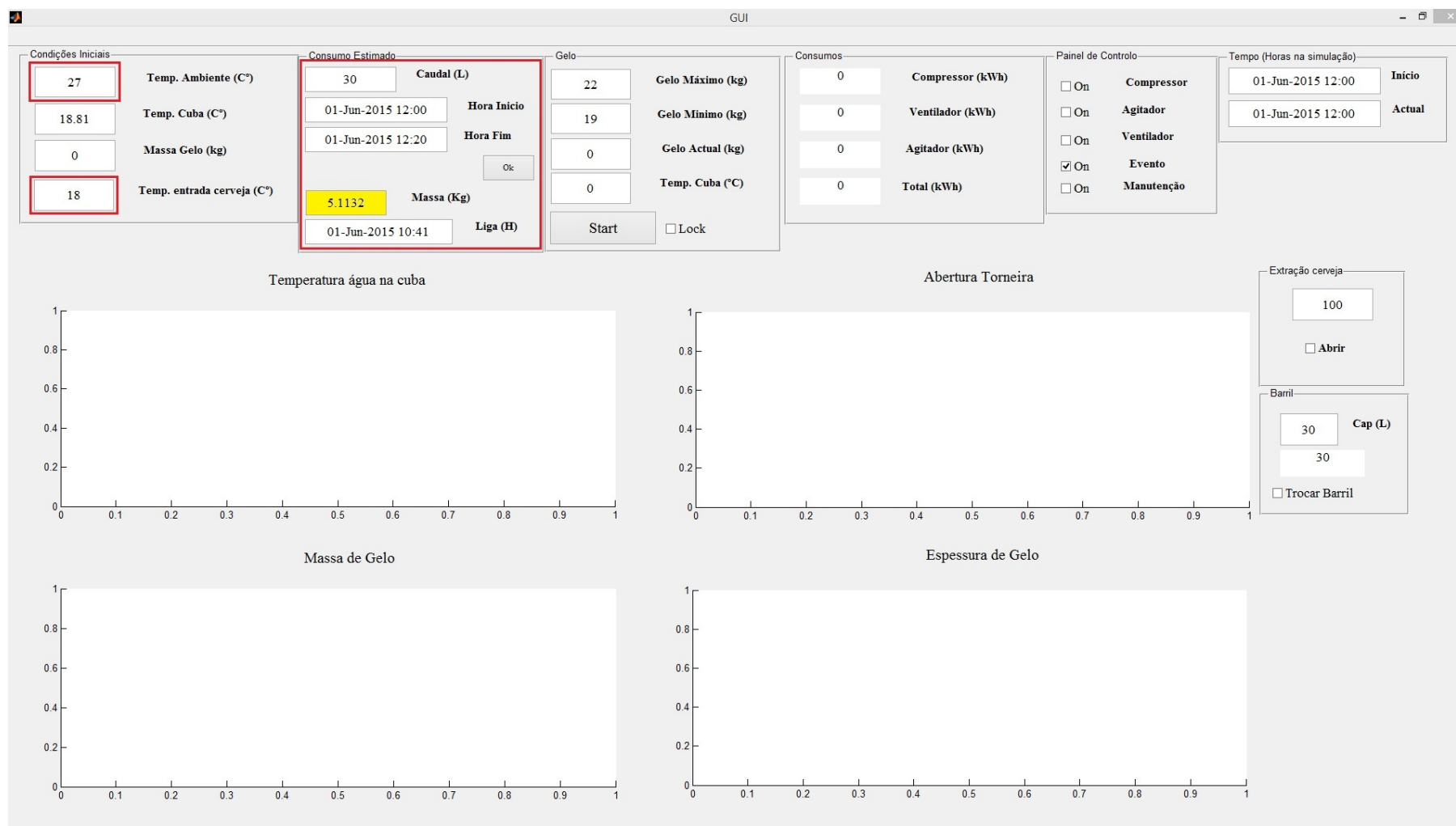


Figura C.1: Estimação da massa de gelo perdida numa extração conhecida à priori. A vermelho encontram-se os campos principais para a estimação de massa perdida e a amarelo encontra-se a massa perdida acrescida de 15% de segurança



# Referências

- [1] P. D. E. ENERGÉTICA, “Portal da Eficiência Energética - Conceitos,” 2010. [Online]. Available: <http://www.portal-eficienciaenergetica.com.pt/conceitos.html> [Acedido: Fevereiro 2015]
- [2] PORDATA, “PORDATA - Consumo de energia eléctrica: total e por sector de actividade económica - Portugal.” [Online]. Available: <http://www.pordata.pt/Portugal/Consumo+de+energia+el%C3%A9ctrica+total+e+por+sector+de+actividade+econ%C3%B3mica-1125> [Acedido: Junho 2015]
- [3] A. A. p. a. Energia, “Indústria | ADENE - Agência para a energia,” 2015. [Online]. Available: <http://www.adene.pt/textofaqs/industria> [Acedido: Junho 2015]
- [4] J. a. L. C. Faria, “Avaliação do Ciclo Térmico de uma Máquina de Extração de Cerveja,” Ph.D. dissertation, 2012.
- [5] A. T. Unicer, “Características Técnicas dos Refrigeradores Unicer,” 2014.
- [6] José Jorge Albuquerque Sousa Vilela Garcia, *Melhoria do desempenho de sistemas frigoríficos destinados a bebidas de pressão*. Porto: FEUP, 2014. [Online]. Available: [http://digitool.fe.up.pt:1801/webclient/DeliveryManager?custom\\_att\\_2=simple\\_viewer&metadata\\_request=false&pid=744267](http://digitool.fe.up.pt:1801/webclient/DeliveryManager?custom_att_2=simple_viewer&metadata_request=false&pid=744267)
- [7] R. Reis, *Sistema de Monitorização e Controlo de uma Máquina de Extração de Bebidas*, 2014.
- [8] L. Virtual, “Manual: o Chopp bem tirado,” 2014. [Online]. Available: [http://www.catira.com.br/images/stories/manutencao-chopeiras/manual\\_tirador\\_chopp.pdf](http://www.catira.com.br/images/stories/manutencao-chopeiras/manual_tirador_chopp.pdf) [Acedido: Novembro 2014]
- [9] Weiku, “Single Draft Beer Machine,” 2011. [Online]. Available: <http://www.weiku.com/products-image/11309835/Single-Draft-Beer-Machine.html> [Acedido: Novembro 2014]
- [10] UNICER, “Caderno Encargos Refrigeradores,” 2014.
- [11] Embraco, “UNIDADES CONDENSADORAS.” [Online]. Available: <http://www.embraco.com/default.aspx?tabid=109&idcat=3&idfam=11> [Acedido: Dezembro 2014]

- [12] REFRIGERACIÓN BARCINOVA SA, “CONTROLES ELECTRÓNICOS DE ESPE-SOR DE HIELO.” [Online]. Available: <http://www.refrigeracionbarcinova.com/imprimir/imprimir-modelo901c-controlador-espesor-hielo.html> [Acedido: Novembro 2014]
- [13] D. Digital, “Estreia mundial: Unicer lança barril de cerveja para pequenos consumi-dores,” 2006. [Online]. Available: [http://dinheirodigital.sapo.pt/news.asp?id\\_news=64629](http://dinheirodigital.sapo.pt/news.asp?id_news=64629) [Acedido: Novembro 2014]
- [14] S. Bock, “Super Bock Original,” 2013. [Online]. Available: <https://www.superbock.pt/sb/pt/marca/a-tua-cerveja/original.aspx> [Acedido: Outubro 2014]
- [15] P. mechanical Ltd, “History of Refrigeration.” [Online]. Available: <http://www.peakmechanical.ca/history-of-refrigeration.html>
- [16] Y. A. Cengel and M. A. Boles, *Thermodynamics: An Engineering Approach*. McGraw-Hill, 2002. [Online]. Available: <http://books.google.com/books?id=5-hSAAAAMAAJ&pgis=1>
- [17] C. I. of Technology, “History of Thermoelectrics,” 2015. [Online]. Available: <http://thermoelectrics.matsci.northwestern.edu/thermoelectrics/history.html> [Acedido: Junho 2015]
- [18] M. I. o. Técnicas, “Dispositivos de efeito Peltier,” 2008. [Online]. Available: [http://www.mspe.eng.br/eletrn/peltier\\_110.shtml](http://www.mspe.eng.br/eletrn/peltier_110.shtml) [Acedido: Junho 2015]
- [19] E. S. Ltda, “Caixa térmica para bebidas - Efeito Peltier - Parte 1 - Saber Eletrônica Online,” 2013. [Online]. Available: <http://www.sabereletronica.com.br/artigos/1610-caixa-trmica-para-bebidas-efeito-peltier-parte-1> [Acedido: Junho 2015]
- [20] MicroControlado, “Utilizando um sensor de temperatura – Termistor NTC 10K no PIC,” 2012. [Online]. Available: <http://microcontrolado.com/termistor-ntc-10k-no-pic/> [Acedido: Fevereiro 2015]
- [21] Dallas Semiconductor, “DS18B20 Programmable Resolution 1-Wire® Digital Thermo-mete.” [Online]. Available: <http://www.dfrobot.com/image/data/DFR0198/DS18B20.pdf> [Acedido: Fevereiro 2015]
- [22] J. Lansing, “PRINCIPLES OF OPERATION FOR ULTRASONIC GAS FLOW METERS,” 2003. [Online]. Available: <http://asgmt.com/wp-content/uploads/pdf-docs/2003/1/11.pdf>
- [23] Arduino, “Arduino - Introduction.” [Online]. Available: <http://www.arduino.cc/en/Guide/Introduction> [Acedido: Fevereiro 2015]
- [24] —, “Arduino - ArduinoBoardMega.” [Online]. Available: <http://arduino.cc/en/Main/arduinoBoardMega> [Acedido: Fevereiro 2015]

- [25] PTROBOTICS, “Raspberry Pi - Model B+ 512MB.” [Online]. Available: <http://www.ptrobotics.com/raspberry-pi/2863-raspberry-pi-model-b-plus.html> [Acedido: Junho 2015]
- [26] Beagleboard.org, “BeagleBoard.org - black.” [Online]. Available: <http://beagleboard.org/black> [Acedido: Novembro 2015]
- [27] Infineon Technologies AG, “32-bit XMC4000 Industrial Microcontroller ARM® Cortex™-M4,” 2012. [Online]. Available: <http://www.infineon.com/cms/en/product/microcontroller/32-bit-industrial-microcontroller-based-on-arm-registered-cortex-tm-m/channel.html?channel=db3a30433c1a8752013c3e221b9d004f> [Acedido: Fevereiro 2015]
- [28] L. Kleeman, “Understanding and Applying Kalman Filtering,” Clayton.
- [29] C. Arcolá, “Kalman Filter | Cristian Arcolá on WordPress.com.” [Online]. Available: <https://cristianarcola.wordpress.com/2013/12/31/kalman-filter/> [Acedido: Junho 2015]
- [30] H. Choset, “Principles of robot motion theory, algorithms, and implementation,” Cambridge, MA London, pp. XIX, [3], 603 p.–XIX, [3], 603 p., 2005.
- [31] M. Integrated, “DS18B20 Programmable Resolution 1-Wire Digital Thermometer - Maxim,” 2015. [Online]. Available: <http://www.maximintegrated.com/en/products/analog/sensors-and-sensor-interface/DS18B20.html> [Acedido: Junho 2015]
- [32] J. a. C. D. A. Araújo, “Sistema de aquisição e monitorização de dados para indústria alimentar e laboratorial,” Sep. 2012. [Online]. Available: <http://repositorio.ipv.pt/handle/10400.19/1633>
- [33] Macetech, “chronodot\_v2.0 [macetech documentation],” 2015. [Online]. Available: [http://docs.macetech.com/doku.php/chronodot\\_v2.0](http://docs.macetech.com/doku.php/chronodot_v2.0) [Acedido: Junho 2015]
- [34] A. Tomar, “System Reference Manual for element14 BeagleBone Black Revision C Development Platform,” 2013, ch. 7 - CONNEC, p. 118.
- [35] T. E. ToolBox, “Ice - Thermal Properties.” [Online]. Available: [http://www.engineeringtoolbox.com/ice-thermal-properties-d\\_576.html](http://www.engineeringtoolbox.com/ice-thermal-properties-d_576.html) [Acedido: Março 2015]
- [36] F. P. Incropera, *Fundamentals of heat and mass transfer*, 6th ed. Danvers: John Wiley «&=and» Sons, vol. 6th ed.
- [37] J. a. A. N. Fernandes, “Experimentação e otimização num sistema frigorífico de extração de cerveja ,” Porto, pp. 1 CD-ROM (70 p.)–1 CD-ROM (70 p.), 2013. [Online]. Available: [http://digitool.fe.up.pt:1801/webclient/DeliveryManager?custom\\_att\\_2=simple\\_viewer&metadata\\_request=false&pid=745490](http://digitool.fe.up.pt:1801/webclient/DeliveryManager?custom_att_2=simple_viewer&metadata_request=false&pid=745490)
- [38] C. Thermoelectric, “Material Properties.” [Online]. Available: <http://www.customthermoelectric.com/MaterialProperties7.htm> [Acedido: Março 2015]

- [39] T. E. ToolBox, “Thermal Conductivity of some common Materials and Gases.” [Online]. Available: [http://www.engineeringtoolbox.com/thermal-conductivity-d\\_429.html](http://www.engineeringtoolbox.com/thermal-conductivity-d_429.html) [Acedido: Outubro 2014]
- [40] W. Pohlmann, “Formulaire du frigoriste,” Paris, pp. XIII, 768 p.–XIII, 768 p., 1967.
- [41] T. E. Tolbox, “Water - Thermal Properties.” [Online]. Available: [http://www.engineeringtoolbox.com/water-thermal-properties-d\\_162.html](http://www.engineeringtoolbox.com/water-thermal-properties-d_162.html) [Acedido: Março 2015]
- [42] Danfoss, “Danfoss Compressors,” p. 6, 2008.
- [43] M. J. Lewis and T. W. Young, *Brewing*. Springer Science & Business Media, 2002. [Online]. Available: <https://books.google.com/books?id=cr9Pv0gefCQC&pgis=1>
- [44] T. Q. Company, “Qt - About us,” 2015. [Online]. Available: <https://www.qt.io/about-us/> [Acedido: Junho 2015]
- [45] Xzilla, “phpPgAdmin - start,” 2013. [Online]. Available: <http://phppgadmin.sourceforge.net/doku.php?id=start> [Acedido: Junho 2015]
- [46] P. Technology, “PicoScope 2205 Mixed-Signal Oscilloscope (MSO).” [Online]. Available: <https://www.picotech.com/oscilloscope/2205-mso/picoscope-2205-mixed-signal-oscilloscope> [Acedido: Junho 2015]